

**Desenvolvimento de Sistemas de Recolha de
Resíduos Sólidos Urbanos**

Projecto Final realizado na TNL

Luís Carlos de Sá Laranjeira

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na TNL: Eng.º Nuno Silva

Orientador na FEUP: Prof. Renato Natal Jorge



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro de 2008

*Aos meus pais,
porque o primeiro de 4 sonhos se realizou.*

RESUMO

O presente trabalho pretende descrever e documentar o estágio realizado na empresa TNL – Sociedade de Equipamentos Ecológicos e Sistemas Ambientais e os projectos aí desenvolvidos.

Este estágio teve como principais objectivos o estudo do software *Pro-Engineer* para modelação 3D; o cálculo estrutural e modelação 3D de plataformas metálicas, sistemas mecânicos e hidráulicos, e o estudo e dimensionamento de um contentor plástico de elevação por grua, obtido por rotomoldagem.

O presente relatório encontra-se estruturado em três projectos, cada um dos quais englobando trabalhos e temas que se relacionam entre si.

O primeiro projecto desenvolvido inclui o estudo do software *Pro-Engineer* e dos seus módulos com aplicação directa em vários trabalhos de desenvolvimento e modificação de equipamentos de recolha de resíduos sólidos urbanos.

O projecto seguinte e que merece maior destaque no relatório, consistiu no desenvolvimento de um contentor de 5m³ de elevação por grua a ser fabricado em Polietileno de Alta Densidade rotomoldado para substituir o actual contentor da empresa. Este projecto abordou o estudo do processo de Rotomoldagem e a aplicação do Método de Elementos Finitos no dimensionamento do contentor, optimizando a espessura e os reforços que melhor respondem ao tipo de solicitação a que estará sujeito. Suprimiram-se as deficiências do actual contentor e apresentaram-se algumas inovações.

Por último realizou-se o projecto de cálculo de sistemas mecânicos no qual se desenvolveram adaptações a equipamentos que implicaram o cálculo de uma mola de torção dupla e de um cilindro a gás.

Na prossecução dos projectos levados a cabo no estágio na empresa TNL, estudaram-se diferentes sistemas de recolha de resíduos, conceberam-se novas soluções que culminaram no desenvolvimento de protótipos com a produção e implementação devidamente documentadas neste trabalho escrito.

ABSTRACT

The present work intends to describe and document the internship that took place at TNL – *Sociedade de Equipamentos Ecológicos e Sistemas Ambientais (Ecological Equipments and Environmental Systems Society)*, as well as the projects developed there.

The main goals of this internship were 3D *Pro-Engineer* software research; calculus of structures and 3D design of metallic platforms, mechanical and hydraulic systems; and finally the development of a rotomolded plastic container for a crane lifting system.

This report is structured in 3 main projects according to its themes and tasks.

The first project includes the *Pro-Engineer* software research and learning, with direct application on several modifications of waste management equipments.

The most important project described in this report is the upgrading and replacement of TNL's 5m³ waste container. It began with an extensive research on Rotomoulding process followed by a Finite Element Method analysis and study of the container's design, optimizing the reinforcement and thickness of the walls. This study resulted in a new and better container suppressing former problems. The new version will be produced in rotomolded High Density Polyethylene.

Finally the last project involved calculating and selecting a double torsion spring and a gas spring from the suppliers catalog to be implemented on new adapted equipments.

With the projects developed during this internship, the study of different waste management systems was in focus. New solutions were conceived, prototypes tested and implemented in real scenarios, all of which is entirely documented in the present report.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Eng.º Nuno Silva pelo forte apoio e incentivo demonstrados no decorrer do estágio e na realização deste trabalho e a todas as pessoas da TNL que tão bem me acolheram.

Agradeço também ao meu orientador na FEUP, prof. Renato Natal Jorge pelos ensinamentos transmitidos e disponibilidade em ajudar ao longo do estágio.

Finalmente agradeço à Patrícia pela objectividade e clareza que incutiu em mim para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação da empresa TNL.....	1
1.2	Organização e temas abordados no presente relatório.....	2
1.3	Projectos desenvolvidos	3
1.3.1	Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos	3
1.3.2	Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m ³	4
1.3.3	Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos.....	5
1.4	Estudo e desenvolvimento de protótipos	6
1.4.1	Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos	6
1.4.2	Projecto 2 – Desenvolvimento do <i>Novo Contentor de 5m³</i>	6
1.4.3	Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos.....	6
2	Descrição dos projectos realizados.....	9
2.1	Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos	9
2.1.1	Apresentação e requisitos dos problemas tratados	9
2.1.2	Procedimento Experimental	15
2.1.3	Apresentação e discussão dos resultados e protótipos desenvolvidos.....	21
2.1.4	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	27
2.2	Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m ³	28
2.2.1	Apresentação e requisitos dos problemas tratados	28
2.2.2	Procedimento Experimental	36
2.2.3	Apresentação dos resultados e protótipos desenvolvidos.....	43
2.2.4	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	50
2.3	Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos.....	51
2.3.1	Apresentação e requisitos dos problemas tratados	51
2.3.2	Procedimento Experimental	52
2.3.3	Apresentação e discussão dos resultados e protótipos desenvolvidos.....	55
2.3.4	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	58
3	Conclusão	61
4	Bibliografia.....	63
	ANEXO A: Pesquisa Bibliográfica sobre a Rotomoldagem.....	65
	ANEXO B: Dimensionamento do <i>Novo Contentor 5m³</i> no ABAQUS.....	81
	ANEXO C: Selecção de uma Mola de Torção Dupla para o <i>Kit Anti-Fogo</i>	131
	ANEXO D: Selecção de um Cilindro a Gás para o <i>Marco Bigtainer com Tampa</i>	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1 – Esquema de um equipamento enterrado de recolha de resíduos.....	3
Figura 2.1.1- Esquema de funcionamento do <i>Ecotainer B4</i>	9
Figura 2.1.2- Contentor de carga traseira de 1100litros	10
Figura 2.1.3 - Dimensões contentor carga traseira de 1100litros (mm)	10
Figura 2.1.4- Contentor de carga lateral 2200litros.....	10
Figura 2.1.5 - Dimensões contentor de carga lateral 2400litros (mm)	11
Figura 2.1.6 - Dimensões exteriores <i>Ecotainer B4</i> (mm).....	11
Figura 2.1.7 - Grua com “duplo gancho”	12
Figura 2.1.8 - Estrutura do contentor <i>Manuel Novo</i>	12
Figura 2.1.9 - Sistema de abertura.....	13
Figura 2.1.10 - Estrutura do contentor <i>Cityspot</i> da <i>Plastic Omnium</i>	13
Figura 2.1.11 - <i>Contentor de 5m³</i> e equipamento <i>Citytainer</i>	14
Figura 2.1.12 - Dimensões exteriores do marco <i>Oporto</i> (mm)	14
Figura 2.1.13 - Logótipo do <i>Pro-Engineer Wildfire</i>	15
Figura 2.1.14 - Dimensões do <i>Ecotainer B4</i> a alterar para acomodação dos contentores de carga lateral (mm).....	16
Figura 2.1.15 - Estrutura do <i>Ecotainer B4</i>	16
Figura 2.1.16 - <i>Plataforma de Segurança</i> do <i>Unitainer</i>	17
Figura 2.1.17 - Contentor do <i>Unitainer</i> (fechado)	18
Figura 2.1.18 - Contentor do <i>Unitainer</i> (aberto)	18
Figura 2.1.19 - Simulação da recolha do contentor <i>Unitainer</i>	19
Figura 2.1.20 - <i>Estrutura Metálica de Reforço e Sistema para Elevação</i> do <i>Contentor de 5m³</i>	19
Figura 2.1.21 - Estrutura de suporte do aro da lona	20
Figura 2.1.22 - Aplicação da lona à estrutura de apoio	20
Figura 2.1.23 - Asa para elevação do contentor	20
Figura 2.1.24 - Sequência de recolha da lona.....	21
Figura 2.1.25 - Marco <i>Oporto</i> e Marco <i>Oporto Big</i> com dimensões finais (mm)	21
Figura 2.1.26 - Modelo desenvolvido.....	22
Figura 2.1.27 - Modelo desenvolvido para a <i>Adaptação para Lona</i>	24
Figura 2.1.28 - Modelo do Marco <i>Oporto Big</i>	26
Figura 2.2.1 - Camião de recolha com grua	29
Figura 2.2.2 - <i>Contentor 5m³</i>	30
Figura 2.2.3 - Pormenor <i>Sistema para Elevação e Estrutura Metálica de Reforço</i>	30
Figura 2.2.4 - Pormenor do <i>Fundo Metálico</i> e aro	31
Figura 2.2.5 - Abertura do fundo	31
Figura 2.2.6 - Arquitectura do contentor <i>Molok</i>	32
Figura 2.2.7 - Recolha do contentor <i>Molok</i>	32
Figura 2.2.8 - Abertura do contentor <i>Molok</i>	32

Figura 2.2.9 - Aspecto exterior dos contentores <i>Molok</i>	33
Figura 2.2.10 - Estrutura do contentor.....	33
Figura 2.2.11 – Abertura do fundo	34
Figura 2.2.12 - Perfil hidrostático para a pressão no interior do contentor	37
Figura 2.2.13 - Simplificação adoptada para o teste dos reforços	38
Figura 2.2.14 - Deslocamentos Magnitude em função do n.º de bandas.....	39
Figura 2.2.15 - Deslocamento Magnitude em função da distância ao centro da banda horizontal.....	39
Figura 2.2.16 - Modelo optimizado – 2ª Fase	39
Figura 2.2.17 - Efeito do aumento da espessura dos reforços – Deslocamento Magnitude.....	40
Figura 2.2.18 - Configuração do corpo do contentor – 4ª Fase	40
Figura 2.2.19 - Corpo do contentor com reentrâncias como reforços	41
Figura 2.2.20 - Vista em corte do tipo de geometria adoptado	41
Figura 2.2.21 - Modelo optimizado – 5ª Fase	42
Figura 2.2.22 - Geometria final – Corpo + Fundo + Aros de Reforço	42
Figura 2.2.23 - Modelo final.....	43
Figura 2.2.24 - Novo Contentor 5m ³	43
Figura 2.2.25 - Deslocamento zz (mm), limitado a 5mm – pormenor asa	44
Figura 2.2.26 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 150MPa – pormenor asa	44
Figura 2.2.27 - Corpo Rotomoldado.....	45
Figura 2.2.28 - Deslocamento Magnitude (mm)	46
Figura 2.2.29 - Aro Inferior de Reforço	46
Figura 2.2.30 - Pormenor ligação aro inferior ao corpo do contentor	47
Figura 2.2.31 - Fundo Rotomoldado	47
Figura 2.2.32 - Deslocamento zz (mm) – pormenor do Fundo.....	47
Figura 2.2.33 - Aro de Reforço do Fundo	48
Figura 2.2.34 - Fundo com aro de reforço e olhais das dobradiças.....	48
Figura 2.2.35 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 90MPa, pormenor ligação fundo - corpo	49
Figura 2.3.1 - Marco <i>Bigtainer</i> com dimensões exteriores (mm)	52
Figura 2.3.2 - Alçapão duplo – <i>Kit Anti-Fogo</i>	53
Figura 2.3.3 - Local de aplicação do <i>Kit Anti-Fogo</i> no marco <i>Oporto</i> (cotas em mm).....	53
Figura 2.3.4 - Concepção da estrutura e tampa	54
Figura 2.3.5 - Configuração idealizada para o <i>Marco Bigtainer com Tampa</i>	55
Figura 2.3.6 - Sequência de abertura da tampa do modelo do <i>Marco Bigtainer com Tampa</i> ..	57

ÍNDICE DE TABELAS:

Tabela 2.1.1 - Fotografias do protótipo do <i>Ecotainer Carga Lateral</i>	22
Tabela 2.1.2 - Acompanhamento na produção do protótipo do <i>Unitainer</i>	23
Tabela 2.1.3 - Instalação do protótipo do <i>Unitainer</i> para fase de testes.....	23
Tabela 2.1.4 - Acompanhamento na produção do protótipo	25
Tabela 2.1.5 - Instalação do protótipo para fase de testes	25
Tabela 2.1.6 - Fotografias do protótipo do <i>Marco Oporto Big</i>	26
Tabela 2.1.7 - Fotografias da implementação do <i>Marco Oporto Big</i>	27
Tabela 2.2.1 - Esquema de funcionamento do <i>Citytainer</i>	29
Tabela 2.2.2 - Fases do processo de Rotomoldagem.....	36
Tabela 2.2.3 - Requisitos de projecto dimensionais	49
Tabela 2.2.4 - Deslocamentos máximos obtidos	50
Tabela 2.3.1 - Pormenores do alçapão duplo do <i>Kit Anti-Fogo</i>	56
Tabela 2.3.2 - Fotografias do protótipo do <i>Marco Bigtainer com Tampa</i>	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação da empresa TNL

A TNL – Sociedade de Equipamentos Ecológicos e Sistemas Ambientais, dedica-se ao projecto e comercialização de equipamentos de recolha de resíduos com principal incidência nos contentores enterrados dando resposta a todo o tipo de sistemas de recolha normalizados. Apresenta no entanto um vasto leque de produtos de recolha de resíduos nas categorias de Enterrados, Superfície e “Indoor”.

A empresa TNL surgiu em Setembro de 2000 dedicando-se exclusivamente à comercialização de equipamentos de recolha à superfície, no ano seguinte avançou com a produção subcontratada de equipamentos enterrados e em 2003 havia já criado o Departamento Técnico/Projecto responsável pelo desenvolvimento e implementação dos equipamentos.

A I&D foi sempre uma aposta forte desta empresa que procura inovar e desenvolver equipamentos funcionais, com qualidade e capazes de ser parte integrante do meio que os rodeia. Esta preocupação está patente na realização de projectos em parceria com os arquitectos Siza Vieira e Souto Moura e com o INEGI.

Trata-se de uma empresa ainda jovem mas com um forte crescimento sustentado. Actualmente conta com 13 elementos e detém participações em Espanha e África do Sul.

A TNL, líder de mercado em Portugal com equipamentos espalhados por todo o território nacional e com forte crescimento no mercado internacional, vem-se impondo cada vez mais como um caso de sucesso na área de sistemas de recolha de resíduos sólidos urbanos.

A escolha desta empresa para a realização do estágio não foi acidental. De facto havia já um conhecimento mútuo de ambas as partes fruto de um estágio em part-time iniciado em Março de 2007. Com a possibilidade de o projecto final do novo plano de estudos decorrente do Processo de Bolonha ser realizado em estágio numa empresa externa à FEUP, e havendo vontade da direcção da TNL e do aluno em dar continuidade ao trabalho que vinha sendo efectuado, havia condições para que este estágio pudesse ocorrer.

1.2 Organização e temas abordados no presente relatório

O estágio na empresa TNL abarcou diversos temas relacionados com os campos de estudo da Engenharia Mecânica nomeadamente, Materiais e Moldação de Polímeros, Método de Elementos Finitos e Projecto Mecânico. No início deste estágio foi proposto um programa das etapas previstas, objetivos e conteúdo temático e duração das mesmas.

Etapas previstas para o estágio:

Tabela 1.2.1 – Planeamento do estágio

Etapas	Duração
Estudo do software <i>Pro-Engineer</i> e do módulo <i>Pro-Mechanism</i> para modelação 3D	Setembro
Modelação 3D de plataformas metálicas, sistemas mecânicos e sistemas hidráulicos	Setembro
Estudo dos processos de produção de injeção e Rotomoldagem de polímeros	24 de Setembro a 31 de Outubro
Cálculo das solicitações aplicadas em contentores plásticos de resíduos a partir do Método de Elementos Finitos: -Verificação dos valores das solicitações para diferentes espessuras; -Estudo da geometria do contentor, dos reforços e nervuras;	1 de Novembro a 31 de Janeiro
Cálculo estrutural de plataformas metálicas, sistemas mecânicos e sistemas hidráulicos	3 de Dezembro a 31 de Janeiro

Os trabalhos desenvolvidos durante o estágio foram agrupados em 3 projectos principais de acordo com o planeamento e de forma a facilitar a estruturação dos conteúdos deste relatório. Esta estrutura será mantida ao longo das várias secções do relatório de modo a manter a coerência e tornar clara a compreensão dos temas abordados.

Os projectos elaborados são os seguintes:

Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos

Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m³

Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos

Introdução aos conceitos de equipamento: marco, plataforma e contentor

Para que a compreensão dos aspectos técnicos deste relatório se torne mais clara será feita nesta secção uma curta descrição do conceito dos produtos/equipamentos da empresa TNL que julga-se ser essencial.

Um equipamento enterrado de recolha de resíduos sólidos urbanos é constituído pelo(s) marco(s) de deposição de resíduos, por uma plataforma de accionamento hidráulico suportada por uma cuba em cimento e pelo(s) contentor(es) de recolha desses mesmos resíduos, como a seguinte figura esquematiza.

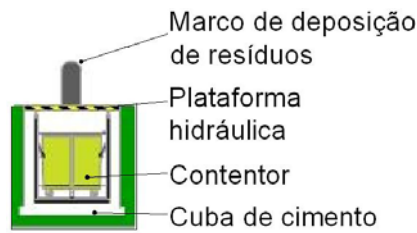


Figura 1.2.1 – Esquema de um equipamento enterrado de recolha de resíduos

Existem diversos tipos de contentores consoante o tipo de recolha pretendida sendo as plataformas desenvolvidas também de acordo com estes parâmetros. Os marcos são o componente estético do conjunto e o interface com o utilizador.

- Marco

O marco de deposição de resíduos é, como foi referido o único elemento visível do conjunto e o interface com o utilizador. É composto por um corpo estrutural em chapa de aço, por um tambor rotativo em chapa de aço inox com um sistema de contrapesos que impede que se mantenha na posição de aberto e determina a capacidade (volume) do marco, e por uma pega que pode ser em aço ou plástico.

A empresa TNL dispõe de vários modelos de marcos de diferente design, sendo o mecanismo de funcionamento essencialmente idêntico entre eles.

- Plataforma

As plataformas são os elementos mais complexos do conjunto, fazem a elevação dos contentores e suportam a tampa e os marcos à superfície. São compostas por uma estrutura metálica de tubos rectangular e quadrado, perfis UPN, chapas de aço quinadas, de montagem por soldadura e ligações roscadas. O accionamento das plataformas é sempre efectuado através de cilindros hidráulicos.

- Contentor

O contentor de material polimérico é o elemento que encerra os resíduos depositados através do marco. Existem diferentes tipos de contentores poliméricos de acordo com o tipo de recolha efectuado pelo camião, e com diferentes capacidades.

- Cuba de cimento

A cuba em cimento tem como funções sustentar as terras circundantes e níveis freáticos e alojar e servir de suporte à plataforma.

1.3 Projectos desenvolvidos

Os projectos enumerados acima englobam os seguintes trabalhos/estudos:

1.3.1 Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos

Etapas:

- Estudo do software *Pro-Engineer* e do módulo *Pro-Mechanism* de modelação 3D.
- Modelação 3D de plataformas metálicas, sistemas mecânicos e hidráulicos.

Este projecto engloba as duas primeiras etapas do estágio que decorreram durante o mês de Setembro.

Estudou-se o software de modelação 3D *Pro-Engineer* e o módulo *Pro-Mechanism* de simulação de movimentos de mecanismos. Seguiram-se alguns tutoriais de introdução ao software onde se modelaram diversos exemplos sempre com o acompanhamento do orientador de estágio na empresa.

A fase seguinte consistiu na modificação de diversos equipamentos existentes para serem implementados em situações específicas. Estas modificações envolveram o redimensionamento de alguns componentes de cada equipamento, a modelação 3D de raiz dessas variações e a simulação do seu funcionamento.

Em seguida foram desenvolvidos os desenhos de definição 2D também no *Pro-Engineer* e enviados para a fábrica para serem produzidos os respectivos protótipos.

Os equipamentos desenvolvidos foram os seguintes:

A) *Ecotainer Carga Lateral*

Este equipamento resulta da modificação do equipamento *Ecotainer B4* para 4 contentores de recolha traseira, de modo a funcionar com 2 contentores de recolha lateral. Esta alteração implicou o redimensionamento geral do equipamento e de vários componentes, bem como algumas modificações à estrutura.

B) *Unitainer*

Na sequência de um projecto mais vasto foi necessário fazer a modelação 3D deste novo equipamento da empresa TNL e proceder ao consequente desenvolvimento de desenhos de definição 2D e acompanhamento de protótipo.

C) *Adaptação para Lona*

Este trabalho implicou o desenvolvimento de uma estrutura em chapa quinada de suporte de uma lona que será colocada nos contentores de 5m³ de grua de modo a dar resposta ao pedido de um cliente.

D) *Marco Oporto Big*

Este trabalho consistiu no redimensionamento do marco de deposição de resíduos *Oporto*, de modo a aumentar a sua capacidade. Foi necessário aumentar o comprimento e profundidade do marco mantendo inalterada a altura.

1.3.2 Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m³

Etapas:

- Estudo dos processos de produção de injeção e Rotomoldagem de polímeros.
- Cálculo das solicitações aplicadas em contentores plásticos de resíduos a partir do Método de Elementos Finitos: Verificação dos valores das solicitações para diferentes espessuras;
- Estudo da geometria do contentor, dos reforços e nervuras.

Este foi o projecto mais longo do estágio, aquele que envolveu todas as fases de projecto e decorreu entre o início de Outubro e o final de Janeiro.

O projecto consistiu no estudo e desenvolvimento de um novo contentor de resíduos com capacidade para 5m³ e de elevação por grua, com o objectivo de suprimir as deficiências do actual (deformações exageradas, elevada corrosão do fundo, mau funcionamento) e conseguir

uma solução com menores custos. O novo contentor deverá ser produzido pelo mesmo processo, a Rotomoldagem e com o mesmo material, o polietileno de alta densidade (PEAD). Neste sentido, a primeira etapa do projecto consistiu na elaboração das especificações de projecto para o contentor onde constam os requisitos e testes a realizar de acordo com as normas em vigor. Compilou-se também uma vasta pesquisa bibliográfica sobre o processo de Rotomoldagem e possibilidades de design de forma a aumentar a resistência dos produtos.

A etapa seguinte consistiu no estudo e desenvolvimento do contentor a partir do MEF utilizando o software *ABAQUS* para simulação. O procedimento efectuado para o dimensionamento do contentor teve como base os deslocamentos obtidos com o carregamento do contentor à máxima capacidade com os resíduos de maior densidade. Começou-se por testar uma configuração de geometria simples sem qualquer tipo de reforços avançando-se progressivamente de forma a aplicar reforços em função dos deslocamentos obtidos com vista à sua limitação. Fez-se também diversas análises comparativas relativamente à configuração ideal dos reforços a aplicar, nomeadamente: espessuras, dimensões e profundidade, número e localização.

Numa fase final desenvolveu-se o fundo do contentor pelo mesmo procedimento e testou-se o conjunto final.

Uma vez desenvolvida a solução final procedeu-se à modelação 3D e desenho de definição 2D.

1.3.3 Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos

Etapas:

- Cálculo estrutural de plataformas metálicas, sistemas mecânicos e sistemas hidráulicos.

Este projecto decorreu na parte final do estágio durante os meses de Dezembro e Janeiro e consistiu na modificação de marcos de deposição de resíduos para situações específicas envolvendo ainda o cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos. Procedeu-se também neste caso à modelação 3D das variantes e envio dos desenhos de definição 2D para fábrica para produção dos respectivos protótipos.

Os marcos desenvolvidos foram os seguintes:

E) Marco Oporto com Kit Anti-Fogo

O trabalho constou da adaptação ao marco de deposição de resíduos *Oporto* para o contentor de papéis de um sistema capaz de evitar a ocorrência de fogos no interior do contentor. Estudou-se então um sistema mecânico composto por um alçapão e molas de torção capaz de reter uma determinada quantidade de papel impedindo a sua passagem até uma massa pré-determinada de papel se acumular forçando a abertura.

F) Marco Bigtainer com Tampa

Neste trabalho foi necessário modificar o modo de abertura do marco de deposição de resíduos *Marco Bigtainer*, substituindo o tambor por uma tampa. Dadas as elevadas dimensões da tampa em chapa de aço e consequentemente elevada massa, foi conveniente aplicar cilindros a gás para facilitar a abertura e controlar o fecho da mesma. Empregou-se também uma fechadura uma vez que a utilização do marco é condicionada.

Desta forma pode-se afirmar que todas as etapas previstas para o estágio foram cumpridas e todos os temas foram abordados nos projectos desenvolvidos.

1.4 Estudo e desenvolvimento de protótipos

Todos os trabalhos/projectos elaborados no decorrer do estágio prevêem o desenvolvimento de protótipos. No entanto e devido em certos casos ao normal processamento, dado que alguns trabalhos terminaram a sua fase de projecto perto do final do estágio, e noutros a atrasos relativos à produção e entrega de componentes por parte dos fornecedores, nem todos estes protótipos tiveram o seu arranque a tempo de serem acompanhados durante a duração do estágio e documentados no presente relatório.

Estado dos protótipos aquando a conclusão do relatório:

1.4.1 Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos

A) *Ecotainer Carga Lateral*

Protótipo em fase final de produção.

B) *Unitainer*

Protótipo produzido e em fase de testes.

C) *Adaptação para lona*

Protótipo produzido e testado com sucesso.

Produção iniciada e equipamento já comercializado e implementado.

D) *Marco Oporto Big*

Protótipo produzido e testado com sucesso.

Produção iniciada e equipamento já comercializado e implementado.

1.4.2 Projecto 2 – Desenvolvimento do *Novo Contentor de 5m³*

O projecto do *Novo Contentor de 5m³* foi aprovado pela da empresa e irá substituir o actual contentor. No entanto como o projecto terminou apenas no final do estágio o acompanhamento da produção do molde não está documentado no presente relatório.

1.4.3 Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos

E) *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo*

Protótipo em fase de produção.

F) *Marco Bigtainer com Tampa*

Protótipo produzido e em fase de testes.

Nota Importante:

Devido aos direitos da empresa TNL certos elementos dos desenhos 2-D desenvolvidos nos trabalhos foram omitidos para divulgação no presente relatório de estágio.

Pelas mesmas razões esses desenhos constam no ANEXO F deste relatório.

2 DESCRIÇÃO DOS PROJECTOS REALIZADOS

2.1 Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos

Na prossecução deste projecto e como abordagem aos equipamentos da empresa TNL foi necessário realizar alguns trabalhos de modificação e adaptação de marcos, contentores e plataformas hidráulicas utilizando o software *Pro-Engineer*.

2.1.1 Apresentação e requisitos dos problemas tratados

Os trabalhos levados a cabo no Projecto 1 são os seguintes:

A) *Ecotainer Carga Lateral*

O *Ecotainer B4* é um equipamento que contém 4 marcos de deposição de resíduos e 4 contentores de resíduos de recolha traseira de 1100litros que normalmente se encontram à superfície.

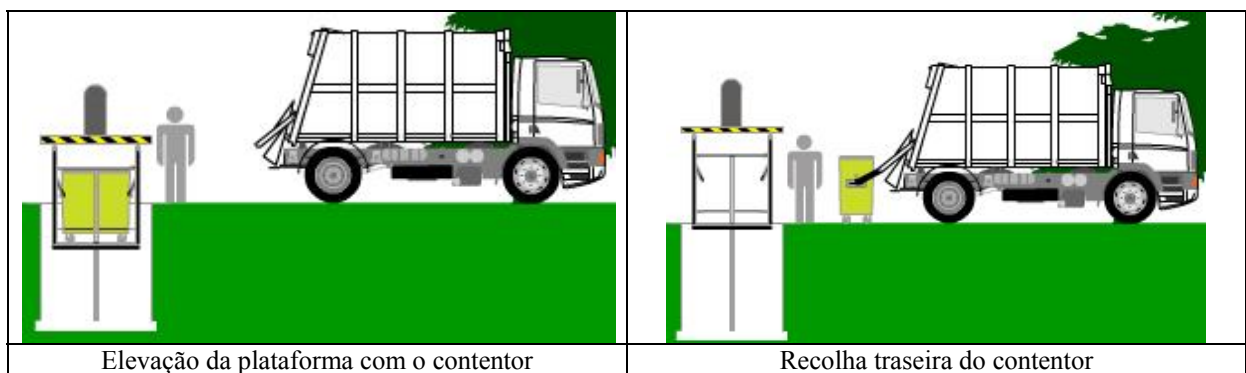


Figura 2.1.1- Esquema de funcionamento do *Ecotainer B4*

Contentor de carga traseira 1100litros

Base da oferta tradicional de soluções para a contentorização de resíduos à superfície, os contentores normalizados MGB de 4 rodas de 1100 litros, constituem a resposta adequada

para a recolha de grandes volumes de resíduos, quando a facilidade de manejo é um factor crucial. Têm também aplicação em equipamentos enterrados como é o caso do *Ecotainer B4*. Este contentor é recolhido pela parte traseira do camião de recolha.



Figura 2.1.2- Contentor de carga traseira de 1100litros

O contentor de carga traseira de 1100litros tem as seguintes dimensões:

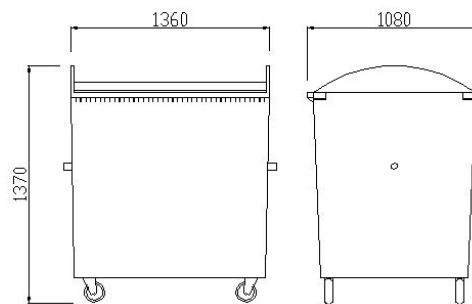


Figura 2.1.3 - Dimensões contentor carga traseira de 1100litros (mm)

Contentor de carga lateral 2400litros

Este tipo de contentor com aproximadamente o dobro da capacidade do carga traseira de 1100litros acaba por ser uma solução mais vantajosa em questões de ocupação do espaço público. Dadas as suas dimensões e massa que pode atingir quando cheio, a recolha deste contentor não pode ser realizada por uma camião de recolha traseira. É recolhido lateralmente por um camião de recolha lateral.



Figura 2.1.4- Contentor de carga lateral 2200litros

O contentor de carga lateral de 2400litros apresenta as seguintes dimensões:

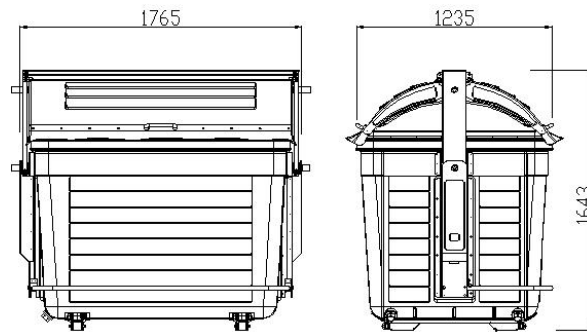


Figura 2.1.5 - Dimensões contentor de carga lateral 2400litros (mm)

Requisitos do trabalho

O equipamento *Ecotainer B4* tem capacidade para 4 contentores carga traseira de 1100litros estando adaptado às dimensões destes contentores.

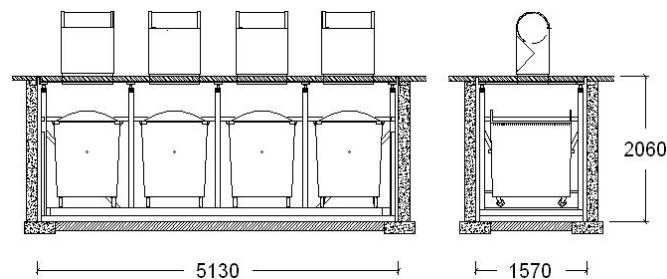


Figura 2.1.6 - Dimensões exteriores *Ecotainer B4* (mm)

Foi proposto efectuar-se as modificações necessárias ao equipamento *Ecotainer B4* para que pudesse acomodar 2 contentores de carga lateral de 2400litros e 2 marcos de deposição de resíduos.

Deveria proceder-se ao estudo e desenvolvimento da solução para este trabalho no *Pro-Engineer* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D para a produção do protótipo.

B) *Unitainer*

O *Unitainer* é um novo produto da empresa. Consiste num equipamento de recolha de resíduos sólidos urbanos de argola dupla com capacidade para 5m³ e que não corresponde na totalidade aos conceitos descritos anteriormente. Trata-se de um contentor totalmente metálico enterrado sem plataforma de elevação em que a sua recolha é feita por grua de “duplo gancho”.

O “duplo gancho” consiste num cilindro hidráulico adaptado na grua que controla o movimento de um segundo gancho.



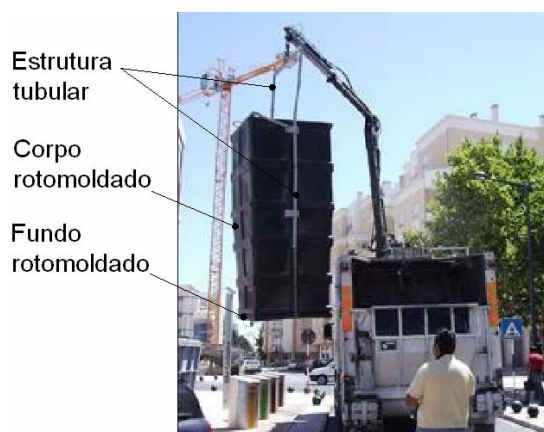
Figura 2.1.7 - Grua com “duplo gancho”

Tendo o contentor duas argolas em que uma é fixa ao contentor e outra móvel que controla a abertura do fundo duplo, a recolha efectua-se elevando o contentor pela argola fixa e posicionando-o sobre o camião. Com o movimento do segundo gancho da grua, enganchado na argola móvel, procede-se à abertura do fundo do contentor.

Pesquisa de mercado

a) Contentor da concorrência: *Manuel Novo*

Este contentor de argola dupla é constituído por um corpo e fundo rotomoldados e uma estrutura metálica tubular para elevação e abertura. O corpo rotomoldado é formado por dois módulos, um com 2m³ e outro com 3m³, ligados por parafusos. O fundo também rotomoldado é no entanto uma placa não tendo capacidade para reter os lixiviados.

Figura 2.1.8 - Estrutura do contentor *Manuel Novo*

O contentor encontra-se alojado numa cuba de betão com uma tampa de abertura por cilindros/molhas a gás, onde é sempre necessário auxiliar a abertura e o fecho manualmente. O sistema de abertura do fundo faz-se por dupla argola e é constituído por uma asa fixa à parte superior do contentor e uma asa móvel acoplada aos tubos verticais que deslizam sobre uns encaixes e permitem a abertura do fundo.



Figura 2.1.9 - Sistema de abertura

b) Contentor da concorrência: *Plastic Omnium*

Este contentor de abertura por duplo gancho apresenta uma estrutura similar ao contentor *Unitainer* desenvolvido pela TNL. A sua estrutura é em chapa de aço galvanizado com a tampa e o marco de deposição acoplados ao contentor. O sistema de abertura do fundo é constituído pelas argolas fixa e móvel no interior do contentor e pelas barras que abrem o fundo (duplo) pelo exterior do contentor.

O equipamento possui também uma plataforma de segurança que se eleva à medida que o contentor é recolhido até permanecer ao nível do solo. É constituída por uma base em chapa de aço e pelo mecanismo de contrapesos que a faz mover.

Figura 2.1.10 - Estrutura do contentor *Cityspot* da *Plastic Omnium*

Requisitos do trabalho

A participação no projecto de desenvolvimento e dimensionamento do contentor *Unitainer* situou-se na sua fase final onde foi necessário proceder à modelação 3D de todos os componentes e estrutura do equipamento, desenvolvimento dos desenhos de definição 2D para a produção do protótipo e acompanhamento da produção deste.

C) Adaptação para lona

O Contentor de $5m^3$ * de elevação por grua utilizado no equipamento *Citytainer* é composto por um corpo em PEAD rotomoldado, por uma estrutura superior e por um fundo metálico com um sistema de abertura.

*Este contentor é caracterizado com mais detalhe na secção 2.2 Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m³.

Requisitos do trabalho

Foi proposto que se desenvolvesse um modo de adaptar uma lona ao contentor por forma a que os resíduos enchessem essa lona, sendo que, no momento de recolha apenas a lona seria levantada por grua e não o contentor.

Deveria proceder-se ao estudo e desenvolvimento da solução para este trabalho no *Pro-Engineer* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D para a produção do protótipo.



Figura 2.1.11 - Contentor de 5m³ e equipamento Citytainer

D) Marco Oporto Big

O marco *Oporto* é um dos modelos de marcos da empresa TNL e aquele mais comercializado. A abertura do marco faz-se através de um tambor no qual se depositam os resíduos. Uma vez depositados os resíduos ao largar-se a pega do tambor este fecha por si devido a um sistema de contrapesos.

A abertura por tambor oferece como principais vantagens a não visualização dos resíduos no interior do equipamento por parte do utilizador e o facto de ser um sistema bastante mais seguro que uma simples tampa.

O marco *Oporto* apresenta as seguintes dimensões:

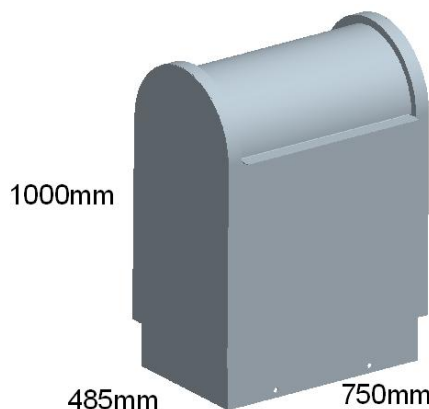


Figura 2.1.12 - Dimensões exteriores do marco *Oporto* (mm)

Requisitos do trabalho

Neste trabalho foi proposto redimensionar o marco *Oporto* aumentando a sua capacidade (volume) de deposição de resíduos para o dobro (105 para 210 litros). Todas as dimensões da estrutura e tambor poderiam ser alteradas excepto a altura do marco que deveria permanecer nos 1000mm. Deveria proceder-se à modelação 3D do conjunto no *Pro-Engineer* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D para a produção do protótipo.

2.1.2 Procedimento Experimental

Este primeiro projecto desenvolvido teve como fase inicial de preparação o estudo do software de modelação 3D *Pro-Engineer* versão *Wildfire*, que seria utilizado como ferramenta de projecto nos restantes trabalhos efectuados no estágio.

O *Pro-Engineer* proporciona os meios necessários para se criar modelos digitais precisos e da mais alta qualidade através dos quais, se podem desenvolver produtos de forma totalmente associativa, ou seja, qualquer mudança nos modelos actualizarão automaticamente os resultados em todas aplicações nas quais os mesmos tenham sido utilizados. Assim, poupa-se tempo e evita-se a possibilidade de erros de tradução nos projectos.



Figura 2.1.13 - Logótipo do *Pro-Engineer Wildfire*

O *Pro-Engineer* constitui um software altamente avançado com soluções integradas de CAD/CAM/CAE. Incorpora módulos de modelação 3D, documentação detalhada de desenhos 2D, modelação de conjuntos, projecto de mecanismos e tarefas de simulação e análise por elementos finitos.

Os módulos mais estudados e desenvolvidos no decorrer deste projecto são, a aplicação standard de modelação CAD-3D e conversão directa em 2D associada, o módulo *Pro-Mechanism* de simulação de movimentos de mecanismos e conjuntos e por último o módulo *Pro-Mechanica* de simulação e análise por elementos finitos.

Terminada a iniciação ao *Pro-Engineer*, realizaram-se trabalhos de modificação, adaptação e redimensionamento de equipamentos que constituíram por um lado a possibilidade de continuação da aprendizagem do software e por outro uma abordagem aos produtos da empresa.

A) *Ecotainer Carga Lateral*

Neste trabalho começou-se por estudar o equipamento existente e que seria alterado, verificando quais os componentes a redimensionar para poder acomodar os 2 contentores de carga lateral de 2400litros. Estes contentores ao contrário dos contentores de carga traseira serão posicionados entre as *estruturas de apoio* exteriores e central, sendo necessário eliminar as *estruturas de apoio* interiores, esquerda e direita.

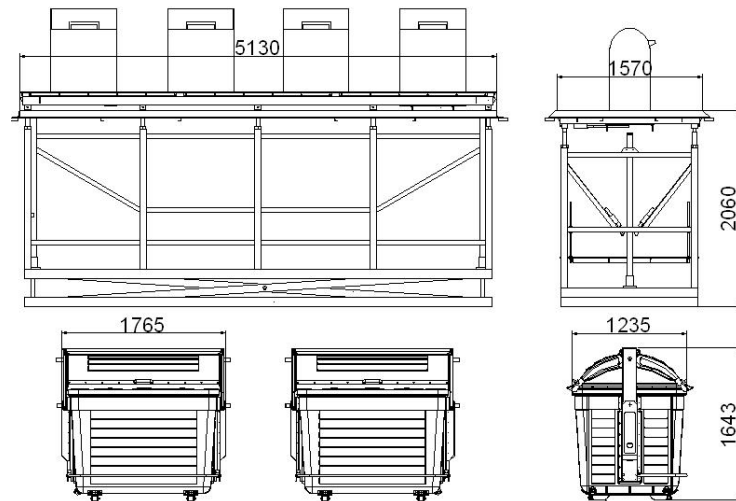


Figura 2.1.14 - Dimensões do *Ecotainer B4* a alterar para acomodação dos contentores de carga lateral (mm)

Modificações efectuadas:

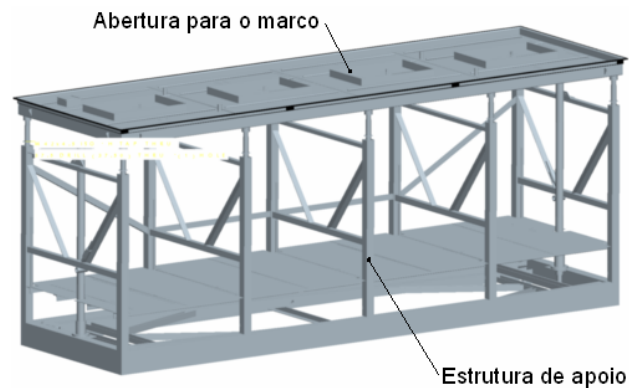


Figura 2.1.15 - Estrutura do *Ecotainer B4*

Para poder acomodar os dois contentores de carga foi necessário em primeiro lugar e como já se referiu, eliminar as *estruturas de apoio* interiores, esquerda e direita e proceder ao aumento da altura do equipamento de 2060 para 2200mm. Também foi necessário aumentar a profundidade de 1570 para 1900mm. Relativamente à largura do equipamento, esta foi diminuída de 5130 para 4800mm.

A tampa da plataforma foi totalmente modificada para permitir a redução de 4 para 2 aberturas para posicionamento dos marcos de deposição.

No redimensionamento do equipamento procurou-se manter as folgas existentes entre todos os componentes, o que implicou modificar praticamente todas as peças.

Com a substituição dos 4 contentores de carga traseira de 1100 litros por 2 contentores de 2400litros não foi necessário proceder a qualquer tipo modificação ao sistema de accionamento hidráulico. Os cilindros hidráulicos foram dimensionados para o *Ecotainer B4* prevendo a eventualidade desta situação.

Verificadas as dimensões que foi necessário alterar procedeu-se à modelação do novo equipamento no *Pro-Engineer*:

1. Modelação do aro de fixação e da tampa tendo em conta as novas dimensões exteriores e a redução de 4 para 2 marcos de deposição.
2. Modelação das *estruturas de apoio* tendo em conta o aumento da profundidade e altura do equipamento.
3. Modelação do piso regulável adaptado às novas dimensões.

4. Modelação da base e da tesoura do equipamento de acordo com as novas dimensões.
5. Assemblagem do *Ecotainer Carga Lateral* e simulação dos movimentos de abertura e fecho no módulo *Pro-Mechanism*.

A última fase deste trabalho consistiu no desenvolvimento dos desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer* e envio dos desenhos para produção do protótipo.

B) Unitainer

O equipamento *Unitainer* é composto pela *Plataforma de Segurança* e pelo contentor propriamente dito.

A modelação do *Unitainer* no *ProEngineer* começou pela *Plataforma de Segurança*. A sua estrutura é composta por 4 pilares e dois aros em chapa quinada, um superior que serve de sustentação ao contentor e outro inferior que serve de apoio ao piso de segurança. O mecanismo de segurança é composto por um piso e por 2 contrapesos, cada um ligado ao piso por um cabo de aço que desliza sobre dois roletes fixos no aro superior.

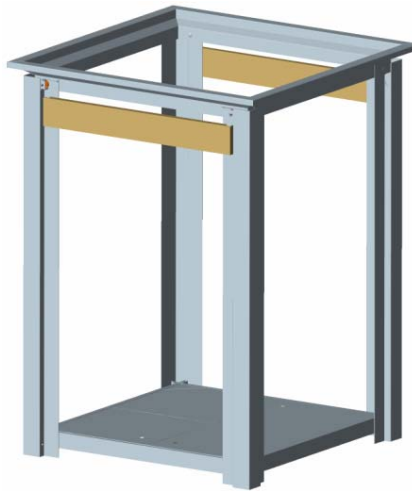


Figura 2.1.16 - *Plataforma de Segurança* do *Unitainer*

Em seguida efectuou-se a modelação do contentor e do sistema de abertura interior. A estrutura do contentor é formada também por 4 pilares e 2 aros em chapa quinada, um superior onde assenta a tampa do contentor e outro inferior onde é fixo o fundo duplo. O contentor é revestido lateralmente a chapa rebitada sobre os pilares e aros.

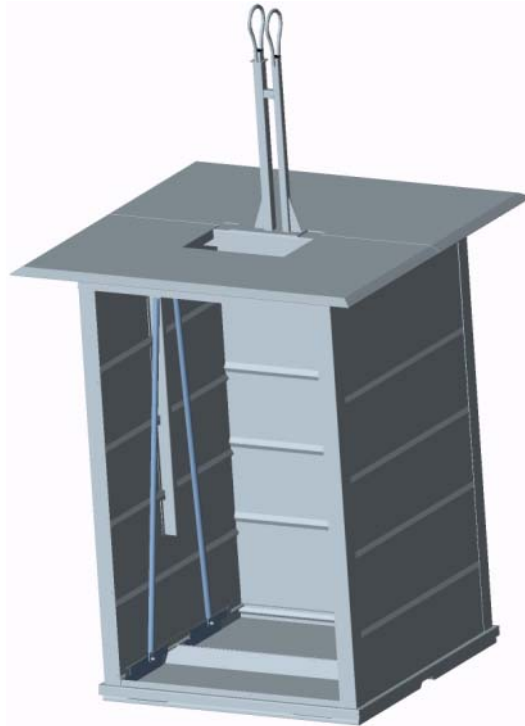


Figura 2.1.17 - Contentor do *Unitainer* (fechado)

O sistema de abertura por movimentação da argola móvel permite a abertura do fundo do contentor.

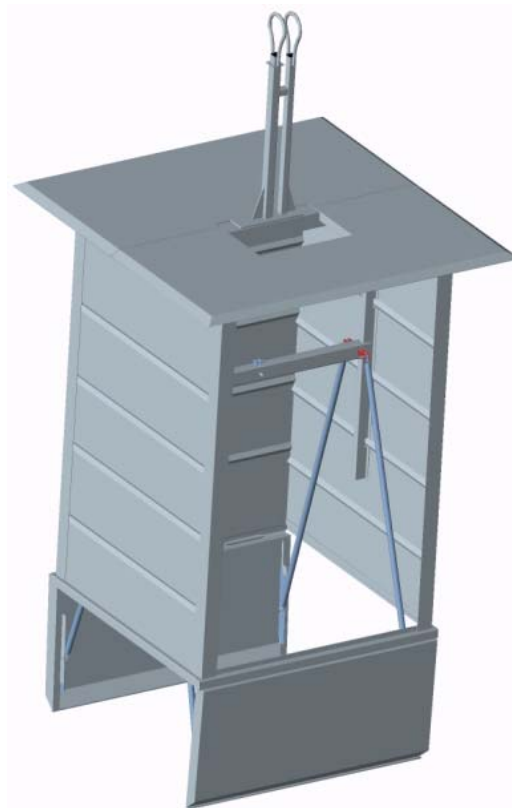


Figura 2.1.18 - Contentor do *Unitainer* (aberto)

Na fase final deste trabalho procedeu-se à simulação dos mecanismos do conjunto *Plataforma de Segurança* + contentor do *Unitainer* para verificação final, no módulo *Pro-Mechanism*. Desenvolveram-se os desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer* e enviaram-se os desenhos para produção do protótipo.



Figura 2.1.19 - Simulação da recolha do contentor *Unitainer*

C) Adaptação para lona

Neste trabalho começou-se por desenvolver uma estrutura em chapa quinada de forma exterior quadrada, para encaixar na estrutura superior do contentor, e interior circular para poder conter o aro da lona.

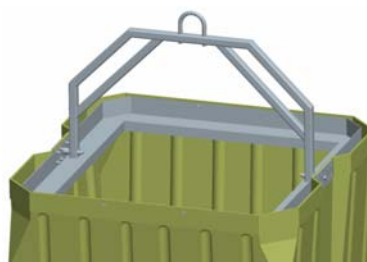


Figura 2.1.20 - Estrutura Metálica de Reforço e Sistema para Elevação do Contentor de 5m³

A estrutura possui forquetas onde será fixa a lona e argolas para possibilitar a recolha por grua. Possui ainda barras para possibilitar a colocação extra de um saco plástico caso seja necessário.



Figura 2.1.21 - Estrutura de suporte do aro da lona

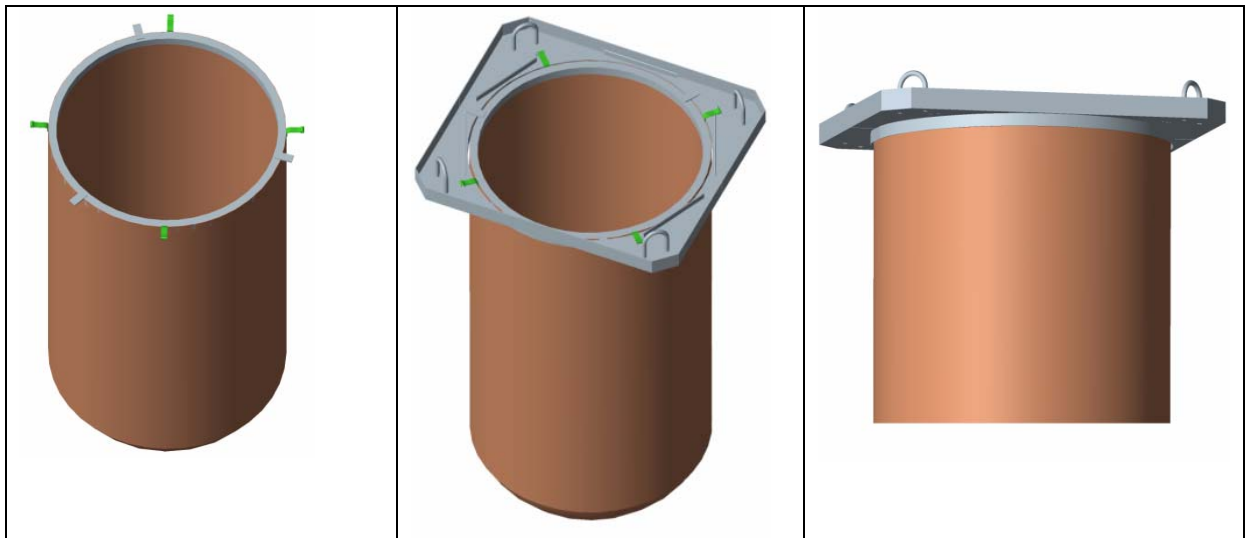


Figura 2.1.22 - Aplicação da lona à estrutura de apoio

Uma vez que o contentor servirá somente de suporte para a estrutura da lona, não sendo levantado na recolha dos resíduos, poderá ser retirada a estrutura para elevação aplicando apenas duas pequenas asas somente para retirar o contentor quando for necessário proceder a limpezas.

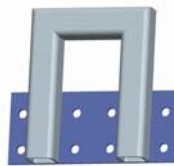


Figura 2.1.23 - Asa para elevação do contentor

Na fase final deste trabalho procedeu-se à simulação da sequência de recolha da lona para verificação final, no módulo *Pro-Mechanism*.

Desenvolveram-se os desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer* e enviaram-se os desenhos para produção do protótipo.

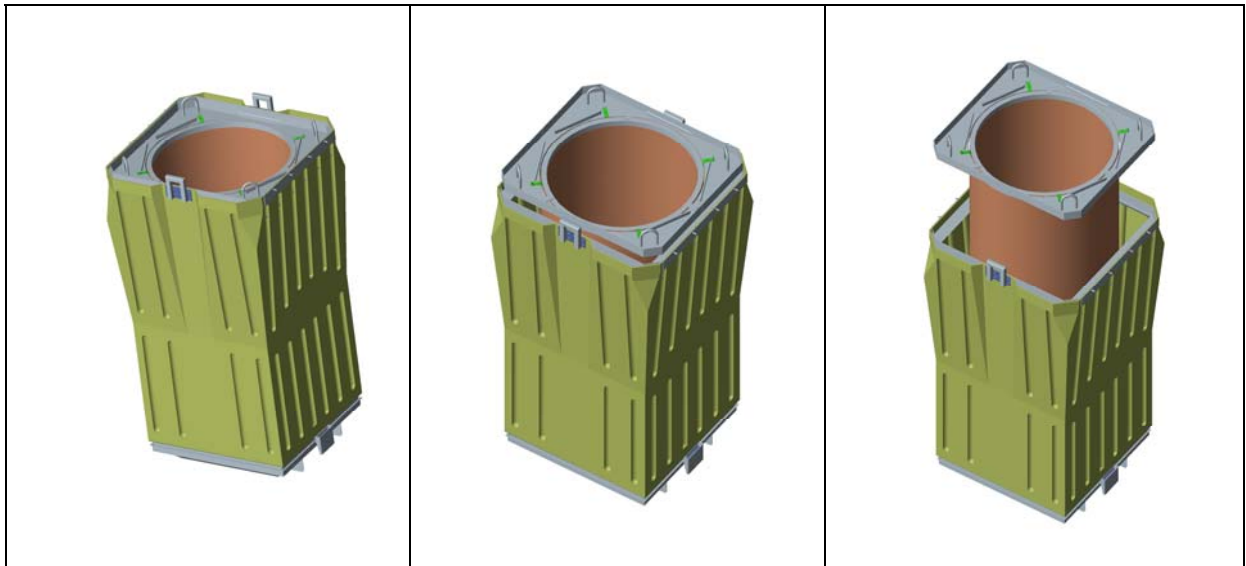
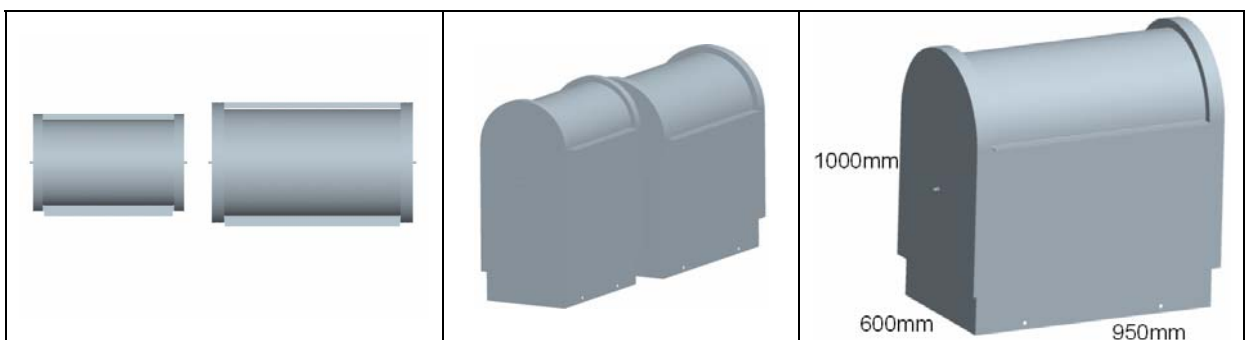


Figura 2.1.24 - Sequência de recolha da lona

D) *Marco Oporto Big*

O desenvolvimento do *Marco Oporto Big* começou pela modelação do tambor para cumprir o volume requerido. Nesse sentido aumentou-se o tambor do marco *Oporto* que tem como dimensões $\phi 242 \times 750 \text{ mm}$ com um volume aproximado de 105 litros, para $\phi 264 \times 950 \text{ mm}$ com um volume próximo dos 210 litros.

A subsequente modelação da estrutura teve como referência a estrutura do marco *Oporto* respeitando no entanto as novas dimensões do tambor e a limitação da altura a 1000 mm.

Figura 2.1.25 - Marco *Oporto* e *Marco Oporto Big* com dimensões finais (mm)

Na fase final deste trabalho desenvolveram-se os desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer* e enviaram-se os desenhos para produção do protótipo.

2.1.3 Apresentação e discussão dos resultados e protótipos desenvolvidos

A) *Ecotainer Carga Lateral*

O *Ecotainer B4* redimensionou-se, cumprindo as especificações e dando origem ao *Ecotainer Carga Lateral*.

O desenho 2D do conjunto *Ecotainer Carga Lateral* pode ser consultado no ANEXO F.

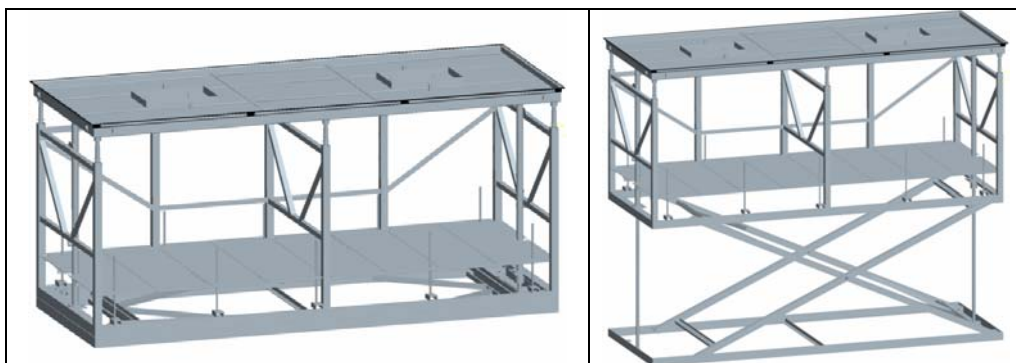


Figura 2.1.26 - Modelo desenvolvido

Devido à maior complexidade e demora na execução deste equipamento, apenas foi possível acompanhar o protótipo já na fase final de montagem. Houve assim oportunidade para verificação das dimensões e alterações efectuadas ao equipamento original.

Tabela 2.1.1 - Fotografias do protótipo do *Ecotainer Carga Lateral*

Acompanhamento na produção do protótipo		
Verificação das dimensões		
		

O protótipo do *Ecotainer Carga Lateral* à data ainda não havia sido instalado para testes.

B) Unitainer

No âmbito da participação no projecto de desenvolvimento *Unitainer* fez-se a modelação 3D do equipamento com sucesso. O desenho 2D de conjunto do *Unitainer* pode ser consultado no ANEXO F do relatório.

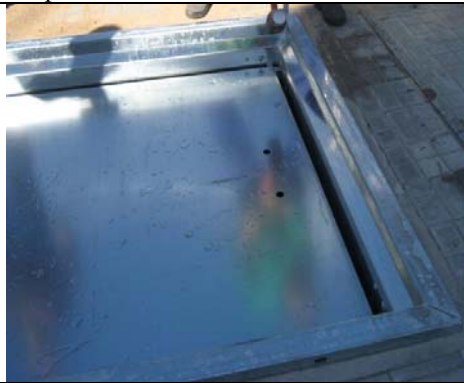
O fabrico do protótipo do equipamento *Unitainer* foi acompanhado na fase de montagem na fábrica. A montagem é relativamente rápida e simples, as ligações entre os componentes é roscada ou rebitada o que agiliza o processo.

Tabela 2.1.2 - Acompanhamento na produção do protótipo do *Unitainer*

Preparação das peças e componentes		
Montagem do contentor e sistema de abertura		

A fase de instalação do protótipo para testes foi também acompanhada. A instalação começa com a fixação da plataforma de segurança na cuba previamente introduzida no fosso. Em seguida introduz-se o contentor e procede-se à ligação do sistema de argolas ao mecanismo de abertura do fundo. O marco de deposição de resíduos é instalado por último.

Tabela 2.1.3 - Instalação do protótipo do *Unitainer* para fase de testes

Descarregamento do <i>Unitainer</i> Instalação da plataforma de segurança		



O *Unitainer* tem uma montagem e instalação bastante simples, além de ser um equipamento robusto e oferecer garantias de durabilidade. A sua funcionalidade pode ser posta em causa relativamente ao bom funcionamento do sistema interior de abertura do fundo sujeito ao contacto com os resíduos.

C) *Adaptação para Lona*

O desenvolvimento da *Adaptação para Lona* requereu um forte sentido prático e o contacto com os funcionários da recolha no sentido de simplificar o processo de elevação da estrutura. O desenho 2D do conjunto *Adaptação para Lona* pode ser consultado ANEXO F do relatório.

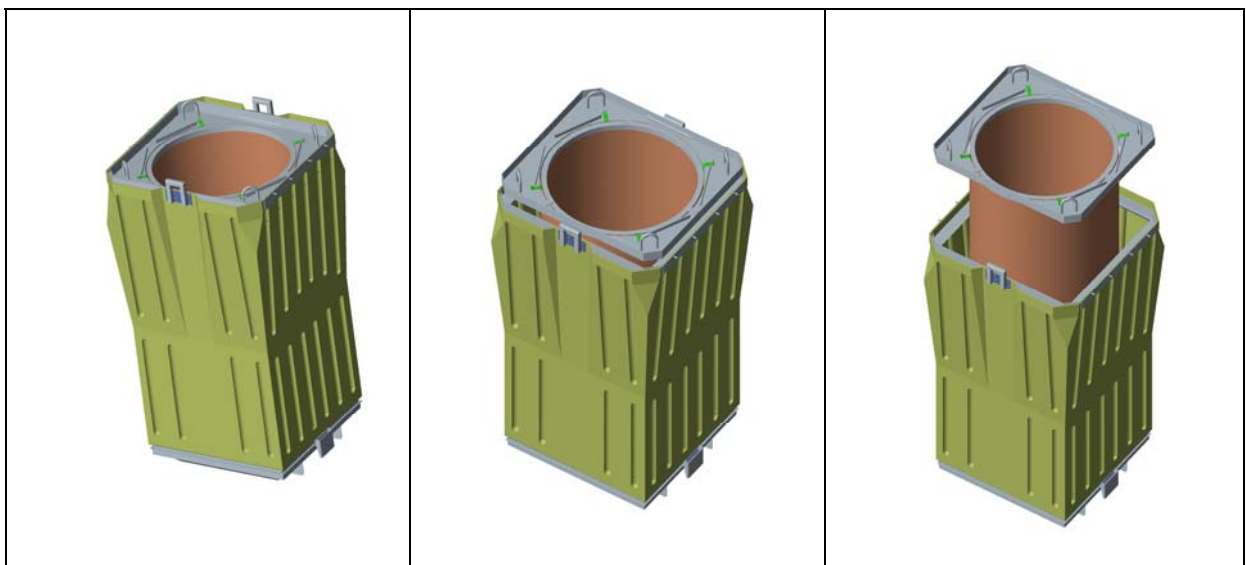


Figura 2.1.27 - Modelo desenvolvido para a *Adaptação para Lona*

A produção do protótipo da *Adaptação para Lona* foi bastante célere devido à simplicidade e facilidade de fabrico das estruturas e à não necessidade de encomendar componentes ou mecanismos extras. Todas as estruturas e componentes foram produzidos na mesma fábrica. No acompanhamento da produção do protótipo foi possível assistir à montagem da lona à estrutura de suporte e das pegas ao contentor.

Houve ainda oportunidade de realizar um teste ao protótipo na fábrica enchendo a lona com material que havia por perto.

Tabela 2.1.4 - Acompanhamento na produção do protótipo

Aro de reforço do contentor e estrutura de suporte da lona em chapa quinada		
Teste na fábrica		

A etapa seguinte consistiu na instalação do protótipo para fase de testes num equipamento *Citytainer*, o que decorreu sem percalços.

Tabela 2.1.5 – Instalação do protótipo para fase de testes

Descarregamento do protótipo Substituição do contentor no equipamento		
Teste de recolha por grua		

Este trabalho foi bem sucedido, a estrutura desenvolvida cumpriu inteiramente os requisitos impostos. A fase de testes teve bons resultados, a *Adaptação para Lona* revelou-se funcional e de fácil recolha pelos funcionários.

D) *Marco Oporto Big*

O desenvolvimento do *Marco Oporto Big* no *Pro-Engineer* teve execução mais simples relativamente aos restantes trabalhos. Os desenhos de definição 2D do conjunto *Marco Oporto Big* podem ser consultados no ANEXO F do relatório.

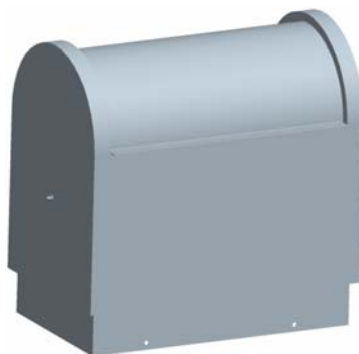


Figura 2.1.28 - Modelo do *Marco Oporto Big*

Acompanhou-se a produção bastante simples do protótipo que exceptuando a montagem do tambor é efectuada por soldadura.

Tabela 2.1.6 - Fotografias do protótipo do *Marco Oporto Big*

Acompanhamento na produção do protótipo		
Estrutura		
Aspecto exterior		

Tabela 2.1.7 - Fotografias da implementação do *Marco Oporto Big*

Implementação do <i>Marco Oporto Big</i>		
Implementação		

2.1.4 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Relativamente a cada um dos trabalhos efectuados é possível concluir:

A) *Ecotainer Carga Lateral*

O redimensionamento do equipamento *Ecotainer B4* de 4 contentores de 1100litros de carga traseira para poder acomodar 2 contentores de 2400litros de carga lateral foi conseguido. O protótipo *Ecotainer Carga Lateral* foi produzido e resta apenas a instalação para fase de testes.

B) *Unitainer*

O trabalho de participação no projecto de desenvolvimento do equipamento *Unitainer* cumpriu-se com sucesso. Modelou-se todo o equipamento composto pela *Plataforma de Segurança* e pelo contentor. Simulou-se os movimentos de elevação do contentor e abertura do fundo no módulo *Pro-Mechanism*. A montagem e instalação para testes do protótipo foram acompanhadas.

O *Unitainer* merece no entanto um desenvolvimento futuro relativamente ao sistema de abertura do fundo. O facto de o mecanismo de abertura funcionar no interior do contentor poderá provocar encravamento pelos resíduos. Poderia estudar-se a possibilidade de aplicar esse mecanismo no exterior das paredes do contentor, uma solução já aplicada num equipamento de uma empresa concorrente.

C) *Adaptação para Lona*

O desenvolvimento da estrutura em chapa quinada para suporte de uma lona, a *Adaptação para Lona* foi bem sucedido. Criou-se o modelo no *Pro-Engineer* e fabricou-se e testou-se o protótipo em fábrica e num equipamento instalado com sucesso. O processo de recolha da lona revelou-se de fácil execução, estando o sistema já implementado e em comercialização.

Foi muito importante o contacto com os funcionários da recolha na concepção da estrutura e do modo de fixação com vista a uma utilização rápida e funcional.

D) Marco Oporto Big

O redimensionamento do marco *Oporto* processou-se com facilidade cumprindo o requisito de aumento da capacidade do tambor para 210litros. Acompanhou-se a produção do protótipo do *Marco Oporto Big* e verificou-se a instalação em obra.

Em suma, a execução dos trabalhos inseridos neste projecto foi essencial para a aprendizagem e domínio da ferramenta base de projecto mecânico na empresa TNL, o *Pro-Engineer*. A facilidade de modelação e modificação de peças 3D, o desenvolvimento e concepção de mecanismos com a possibilidade de simulação de movimentos, aliados à simplicidade e rapidez na obtenção dos desenhos 2D para o processo de produção, são as maiores vantagens verificadas e que permitiram a realização com sucesso dos trabalhos propostos.

Por outro lado a realização destes trabalhos exigiu o estudo de variados equipamentos e sistemas de recolha de resíduos sólidos urbanos da empresa, envolvendo a sua forma de funcionamento, tipo de recolha, processo de fabrico e instalação em obra.

Outro objectivo atingido com sucesso foi a apreensão de conhecimentos ao nível da indústria metalomecânica fruto do acompanhamento da produção dos diversos protótipos em fábrica e que se reflectiu na maior facilidade na posterior abordagem e desenvolvimento dos projectos subsequentes.

2.2 Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m³

O projecto de desenvolvimento do *Novo Contentor de 5m³* envolveu primeiramente o estudo do actual contentor de 5m³ da empresa TNL para perceber o que poderia ser melhorado e modificado. Elaborou-se em seguida um documento que relata as especificações de projecto para o contentor e onde constam os requisitos a ter em conta, os vários testes a ser realizados em conformidade com as normas em vigor para as aplicações a que o contentor se destina.

O estudo incidiu também nas soluções disponibilizadas pela concorrência para o tipo de recolha afecta ao contentor, procurando compreender o tipo de construção e modo de funcionamento.

Dado o tipo de material (PEAD) e o modo de fabrico (Rotomoldagem) especificados para este estudo e desenvolvimento, efectuou-se uma vasta pesquisa bibliográfica acerca do processo de Rotomoldagem e possibilidades de design para aumentar a resistência dos produtos.

2.2.1 Apresentação e requisitos dos problemas tratados

Um dos primeiros contentores enterrados de resíduos sólidos urbanos a surgir no mercado foi o contentor de elevação por grua comercializado por diversos fabricantes. Este tipo de contentor pretende satisfazer a necessidade de elevada capacidade (entre 1,5 e 5m³) aliada a um baixo preço de aquisição e um sistema de recolha simples e barato. A elevada capacidade destes contentores é uma forte vantagem económica pois permite diminuir a periodicidade da recolha dos resíduos. Por estas razões encontram-se largamente difundidos pela Europa nos meios urbanos e rurais.

Sistema de recolha por grua

O sistema de recolha por grua utiliza um camião de recolha com grua que possui um único braço.



Figura 2.2.1 - Camião de recolha com grua

Os contentores argola simples com cabo são constituídos por uma argola e por um sistema de abertura do fundo. Com o gancho da grua engatado numa das argolas é possível elevar o contentor e o fundo. Para abrir o fundo do contentor é só puxar o cabo que abre o sistema de encravamento que o contentor possui.

Pesquisa do mercado

Existem variadas soluções funcionais, estruturais e materiais para este tipo de contentor mantendo-se no entanto como denominador comum, a simplicidade e baixo preço de aquisição.

a) Contentor actual da TNL

O Contentor $5m^3$ de argola simples da TNL é utilizado no equipamento *Citytainer*. Este equipamento funciona com uma tampa com dobradiças que abre por accionamento hidráulico sendo o contentor elevado pela grua do camião de recolha.

Tabela 2.2.1 - Esquema de funcionamento do *Citytainer*

Abertura da plataforma e elevação do contentor	Posicionamento do contentor sobre o compactador do camião e abertura do fundo

Características do contentor

O *Contentor 5m³* da TNL apresenta a seguinte arquitectura:



Figura 2.2.2 - *Contentor 5m³*

O *Sistema para Elevação* consiste numa estrutura em tubo quadrado com a argola onde engancha o gancho da grua e que está ligada ao contentor e à *Estrutura Metálica de Reforço* em dois pontos através de um veio que permite rotação.

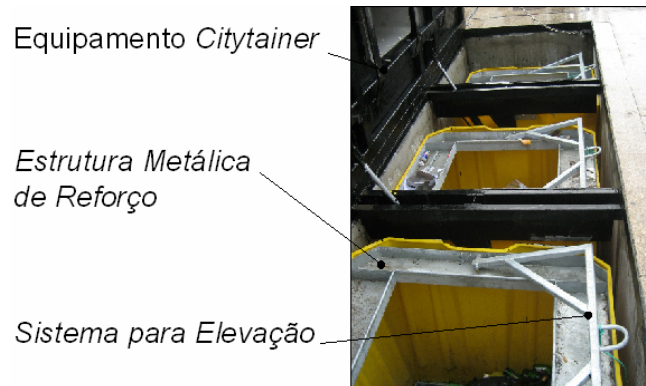


Figura 2.2.3 - Pormenor *Sistema para Elevação* e *Estrutura Metálica de Reforço*

A *Estrutura Metálica de Reforço* consiste num aro em chapa de aço quinada e garante o reforço estrutural da parte superior do contentor e a estabilidade deste quando é levantado por grua. A ligação ao contentor é feita através de parafusos auto-roscantes.

O *Corpo Rotomoldado* é composto por dois módulos em PEAD rotomoldado de 8mm de espessura unidos por ligações roscadas. Este contentor não foi dimensionado de raiz para 5m³, uma vez que resulta de uma adaptação do *Contentor 3m³* ao qual se acopla um módulo de 2m³ de capacidade.

O *Fundo Metálico* tem uma capacidade de aproximadamente 200l para conter os lixiviados provenientes dos resíduos evitando que estes escorram para a cuba e é fabricado em chapa de aço quinada. Confere bastante resistência à parte inferior do contentor através de um aro metálico ligado por parafusos auto-roscantes.



Figura 2.2.4 - Pormenor do *Fundo Metálico* e aro

O *Sistema de Abertura de Fundo* permite a abertura do *Fundo Metálico* quando o contentor está posicionado sobre a tremonha do compactador do camião, através do puxar de um fio pelo funcionário da recolha.



Figura 2.2.5 - Abertura do fundo

O actual *Contentor 5m³* da empresa TNL apresenta alguns problemas e necessita de ser melhorado.

Problemas do actual *Contentor 5m³*:

- Deformações na zona central características da fraca resistência;
- Problemas nas ligações por parafusos ao aro superior e ao fundo metálicos;
- Dimensões exageradas da parte superior o que provoca encravamento ao retirar o contentor do equipamento;
- Fundo metálico que sofre bastante corrosão devido à acumulação de lixiviados, além de ser uma solução mais cara do que se este fosse em polímero;

b) Contentor da concorrência: *Molok*

O contentor de argola simples *Molok* é constituído por uma cuba tubular rotomoldada que fica parcialmente enterrada, por uma lona onde os resíduos se acumulam e segura a um aro metálico que lhe dá forma, e por uma tampa que é também o interface com o utilizador. O aro metálico possui uma argola visível do exterior.

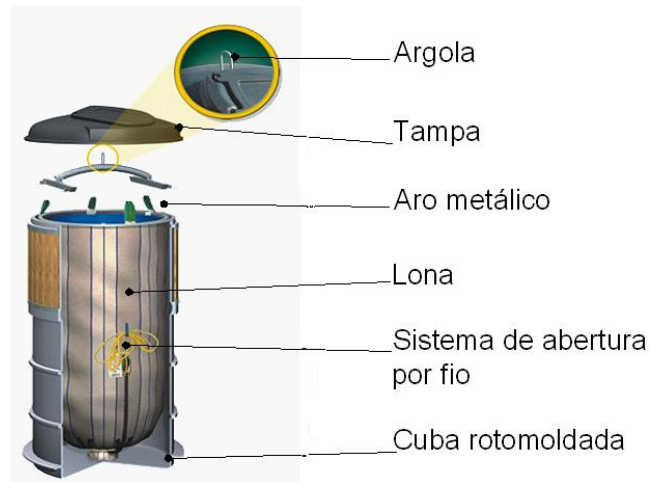


Figura 2.2.6 - Arquitectura do contentor *Molok*

A recolha é efectuada levantando o aro metálico, a lona e a tampa pela argola. Posicionando o conjunto sobre a tremonha do compactador do camião a abertura efectua-se ao puxar um fio que permite o escoamento dos resíduos.



Figura 2.2.7 - Recolha do contentor *Molok*



Figura 2.2.8 - Abertura do contentor *Molok*

O contentor *Molok* constitui uma solução bastante simples e funcional no entanto apresenta alguns inconvenientes tais como:

- ocupa demasiado espaço à superfície;
- esteticamente desagradável;
- a tampa de deposição de resíduos com dimensões exageradas põe em causa a segurança na

sua utilização;

- a cuba rotomoldada é bastante leve e não oferece resistência suficiente para sustentar as terras circundantes e os níveis freáticos, acontecendo não raramente que esta seja impulsionada para a superfície;



Figura 2.2.9 - Aspecto exterior dos contentores *Molok*

c) Contentor da concorrência: *Plastic Omnium*

O contentor de argola simples *Minimax* da *Plastic Omnium* é fabricado totalmente em chapa metálica galvanizada com o marco de deposição de resíduos fixo à tampa por sua vez fixa à estrutura do contentor.

A recolha é feita levantando toda a estrutura pela argola situada na parte superior do marco.



Figura 2.2.10 - Estrutura do contentor

O sistema de abertura exige que o funcionário da recolha de resíduos accione com o pé o mecanismo, pelo que não é de todo um sistema seguro.

Apresenta uma estrutura bastante rígida no entanto susceptível de corrosão.



Figura 2.2.11 – Abertura do fundo

d) Contentor da concorrência: *Manuel Novo*

Na prossecução deste projecto estudou-se também o contentor de 5m³ de dupla argola *Manuel Novo*, descrito em pormenor na secção 2.1.1 Apresentação e requisitos dos problemas tratados – B) *Unitainer*, que embora sendo recolhido por uma sistema diferente que o contentor em estudo, é no entanto fabricado pelo mesmo processo.

Especificações de projecto

Apresentam-se em seguida as principais especificações a ter em conta no estudo e dimensionamento do *Novo Contentor de 5m³*.

Ver ANEXO E do relatório para consultar o documento completo onde constam todos os requisitos de projecto, testes de carga a realizar, etc.

- Enquadramento

Este projecto surge da necessidade de evoluir o contentor de elevação por grua de 5m³ da TNL. O novo produto deverá cobrir as lacunas existentes actualmente, possuindo maior resistência mecânica e à corrosão.

- Definição do Produto

O contentor deve ser alvo do estudo de:

- Modo de construção do contentor: por Rotomoldagem;
- Estudo do processo de fabrico Rotomoldagem;
- Dimensionamento do contentor para ser adaptável ao sistema de recolha por grua;
- Materiais para tornar a estrutura mais leve não prejudicando a sua resistência;
- Aumento da resistência à deformação;
- Protecção anticorrosiva;
- Melhoramento da hermeticidade da junta do fundo;
- Melhoramento do sistema de fecho;

- Requisitos do projecto

- Dimensões

O contentor é utilizado no equipamento *Citytainer*.

Este equipamento permite as seguintes dimensões para acomodação dos contentores:

- Contentor de 5m³: 1500x1500x2800 mm (largura x profundidade x altura)

- Massa

Massa do Contentor: massa máxima de 300 kg

Massas dos resíduos colocados no contentor:

O contentor suportará todo o tipo de resíduos: domésticos, orgânicos, restos de comida, industriais, vidro, embalagens e papel.

Segundo as normas EN 840 e EN 12574 a densidade a utilizar para o teste de carga de resíduos pesados (orgânicos, vidro e papel) é 400 kg/m³ e de resíduos leves (plásticos e embalagens) é 250 kg/m³.

A norma EN 13071 é mais específica relativamente ao teste de carga:

- Densidade de plásticos e embalagens: 100 kg/m³

- Densidade de vidro, papel e metais: 300 kg/m³

- Densidade de resíduos de jardins: 400 kg/m³

- Densidade de resíduos de cozinha: 800 kg/m³

No presente projecto dever-se-á tomar como valor máximo de densidade para o dimensionamento: 800 kg/m³.

Será necessário realizar testes de carga no contentor. A norma EN 840 recomenda o teste de carga com sacos de grãos HDPE de 4 kg (grãos com densidade de 0,5 kg/dm³).

- Volume do contentor

Contentor 5m³: 5000 litros

- Material

O corpo e o fundo do contentor deverão ser em polietileno de alta densidade (PEAD)

- Tipo de Arquitectura

Corpo Rotomoldado Único
+
Estrutura Metálica de reforço (se necessário)
+
Fundo Rotomoldado ou Metálico
+
Sistema para elevação
+
Sistema de Abertura de Fundo

2.2.2 Procedimento Experimental

Pesquisa bibliográfica sobre a Rotomoldagem

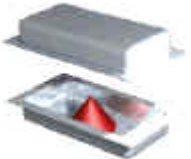
O projecto de desenvolvimento do *Novo Contentor de 5m³* iniciou-se com uma pesquisa sobre o processo de Rotomoldagem. Abordaram-se todos os aspectos desde as características do processo, matérias-primas utilizadas, possibilidades de acabamento, tipo de moldes e máquinas e aplicações. Em seguida será apresentada uma breve introdução a este processo de moldação, para consultar toda a pesquisa efectuada ver o ANEXO A.

A Rotomoldagem é um processo de moldação de resinas poliméricas em que, pela rotação biaxial (em dois eixos simultâneos) de um molde aquecido se obtêm peças de grande ou pequena dimensão, ocas ou abertas em série. É um processo que permite ilimitadas possibilidades de design associadas a baixos custos de produção. Teoricamente todos os termoplásticos e alguns termoendurecíveis podem ser moldados rotacionalmente, de qualquer modo os polímeros mais usados na Rotomoldagem são os termoplásticos: polietileno, polyvinylchloride (PVC), poliamidas (nylon), policarbonato e poliéster insaturado, sendo o polietileno o termoplástico mais usado frequentemente. O fabrico de peças plásticas pelo processo de Rotomoldagem oferece uma vasta gama de soluções e produtos para os principais sectores de mercado: agrícola, alimentar, naval, construção civil e obras públicas, ambiente, lazer, automóvel, brinquedos, etc. Apresenta como principais vantagens, o baixo custo dos moldes, a possibilidade de moldar peças de elevadas dimensões, possibilidade de incorporar insertos metálicos e aditivos e a não existência de zonas com acumulação de tensões nas peças obtidas por se tratar de um processo a baixa pressão.

A Rotomoldagem é um processo de produção altamente versátil, uma opção que reúne diversas possibilidades de projecto com o benefício adicional de baixos custos de fabricação.

O processo de Rotomoldagem pode ser descrito em 4 fases:

Tabela 2.2.2 - Fases do processo de Rotomoldagem

FASE 1: CARREGAMENTO	FASE 2: AQUECIMENTO	FASE 3: ARREFECIMENTO	FASE 4: DESMOLDAÇÃO
			
O molde metálico é carregado com uma quantidade previamente medida de polímero (geralmente em pó). De seguida é fechado com auxílio de grampos ou parafusos e segue para o aquecimento.	O molde é aquecido externamente até altas temperaturas enquanto roda biaxialmente. O polímero amolece e adere à superfície interior do molde formando uma camada de espessura uniforme.	O molde é arrefecido à temperatura ambiente, jacto de ar frio ou água, mantendo as rotações biaxiais até o polímero solidificar ao ponto de resistir aos esforços de extracção do molde.	A peça obtida é retirada do molde continuando o arrefecimento à temperatura ambiente e reiniciando-se o ciclo.
O tempo de ciclo pode variar entre 20 minutos a 1 hora			

Dimensionamento do Novo Contentor 5m³ pelo MEF

Em seguida será feita uma concisa descrição do procedimento utilizado para o dimensionamento do corpo e do fundo do contentor através do software de simulação ABAQUS utilizando elementos de casca. Este procedimento teve como parâmetro principal para análise, os deslocamentos das paredes dos contentores na fase inicial e as tensões numa fase final do estudo como é comum no dimensionamento de componentes poliméricos.

Nota:

O documento que relata detalhadamente o procedimento tomado compreendendo todos os ensaios realizados e resultados obtidos, deve ser consultado no ANEXO B, que por ser extenso não foi incluído nesta secção do relatório.

O dimensionamento desenvolveu-se em 6 fases:

1ª Fase: Ensaios à geometria básica do corpo (sem fundo)

O estudo iniciou-se com a determinação de perfil de pressão que melhor representaria a carga efectuada pelo volume de resíduos no interior do contentor. Decidiu-se que um perfil de pressão hidrostático representaria com maior proximidade o tipo de solicitação que afecta as paredes do contentor. Nesta situação considera-se que a pressão nas paredes p_i é função da altura H do contentor e que para $z=-H/2$ a pressão p_i toma o valor da pressão p , em que $p = m_{total}/Área_{fundo}$

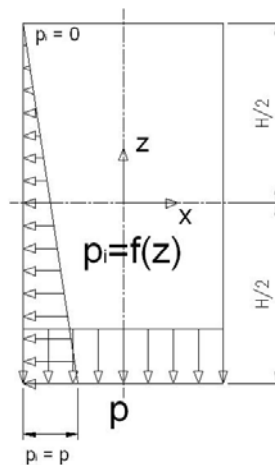


Figura 2.2.12 - Perfil hidrostático para a pressão no interior do contentor

Nesta fase inicial modelou-se o corpo com uma forma tubular quadrada totalmente aberta e encastrando-o na parte superior em duas secções circulares como aproximação à situação real em que na recolha a grua levanta a estrutura de elevação que por sua vez, estando apoiada em dois veios ao corpo do contentor eleva o contentor.

Dados

Propriedades PEAD

As propriedades do PEAD utilizadas neste estudo são referentes à temperatura de 20°C.

PEAD Rotomoldado (ver ficha com propriedades gerais no ANEXO B)

densidade (g/cm ³)	0,945
módulo Young (GPa)	0,86 = 860 N/mm ²

Dimensões do corpo do contentor

Altura	$H = 2700$	mm
Largura	$a = 1500$	mm
Secção	$S = 2,25 \times 10^6$	mm ²
Perímetro secção	$p = 6000$	mm
Volume do contentor	$V = 6,075 \times 10^9$	mm ³
Espessura de PEAD	$e = 8$	mm

Densidade dos resíduos

Densidade resíduos de cozinha	$d = 800$	kg/m ³
Massa de resíduos	$m = 4860$	kg

Cargas

Carga a aplicar no perímetro inferior do corpo		
$q = m \times 9,8 / p$	$q = 7,938$	N/mm

Pressão de referência para o perfil hidrostático

$$p_{ref} = m \times 9,8 / S \quad p_{ref} = 0,021 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

Os ensaios realizados nesta fase consistiram em submeter o corpo do contentor, ainda sem qualquer tipo de reforço, à pressão interior de perfil hidrostático e a carga de tracção no rebordo inferior, estando encastrado em duas secções circulares no rebordo superior.

Obteve-se deslocamentos exageradamente elevados como era previsível e que não serão considerados no presente documento.

Verificou-se a necessidade de aplicar aros metálicos de reforço no rebordo superior e inferior do corpo do contentor

2ª Fase: Ensaio à geometria do corpo com aros metálicos de reforço e bandas de sobreespessura

O estudo realizado nesta fase abordou a aplicação dos aros de reforço na parte superior e inferior do corpo do contentor e a análise à forma e dimensões dos reforços a aplicar nas paredes.

Como aproximação a uma situação final e definitiva, assumiu-se que em lugar de se aplicarem reentrâncias (a forma mais comum de reforços em rotomoldagem) se aplicariam sobreespessuras de material como reforço. Como se utilizam elementos de casca para modelar o contentor é bastante simples criar e eliminar secções ou bandas de reforço nas paredes do modelo e atribuir-lhes diferentes espessuras e propriedades materiais.

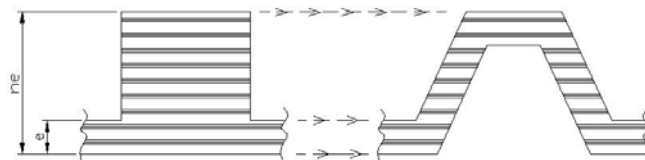


Figura 2.2.13 - Simplificação adoptada para o teste dos reforços

Numa fase final do dimensionamento, estas bandas de reforço optimizadas para uma espessura ne , em que e é a espessura global do corpo do contentor serão traduzidas na profundidade das reentrâncias a aplicar.

Esta fase do dimensionamento do contentor teve como objectivo determinar o n.º ideal de bandas de reforço verticais a aplicar às paredes do contentor e estudar as possibilidades para o

reforço da zona média do contentor aplicando bandas de reforço horizontais. As condições de fronteira e valores de carga mantêm-se.

Aplicando numa primeira etapa apenas bandas de reforço verticais, verificou-se que o número ideal de bandas a aplicar às paredes do contentor é 4.

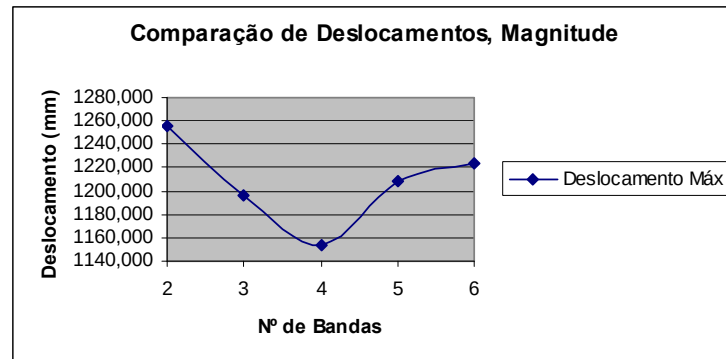


Figura 2.2.14 - Deslocamentos Magnitude em função do n.º de bandas

Depois de aplicar numa segunda etapa a banda de reforço horizontal ao corpo, conseguindo-se diminuir ainda mais os deslocamentos nas paredes, determinou-se o posicionamento ideal da banda de reforço horizontal.

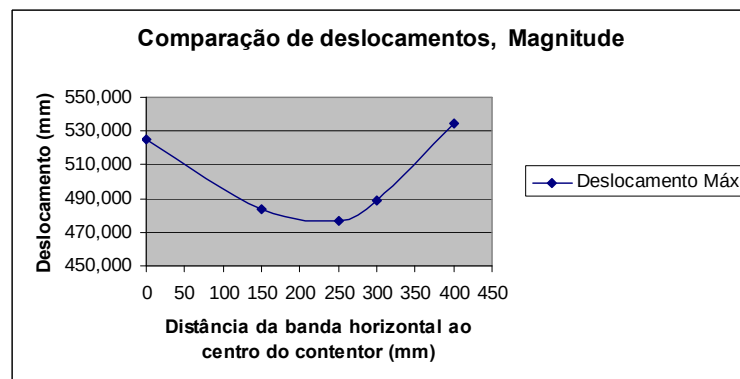


Figura 2.2.15 - Deslocamento Magnitude em função da distância ao centro da banda horizontal

A configuração otimizada nesta fase para o corpo do contentor apresenta um deslocamento máximo de 476,9mm:

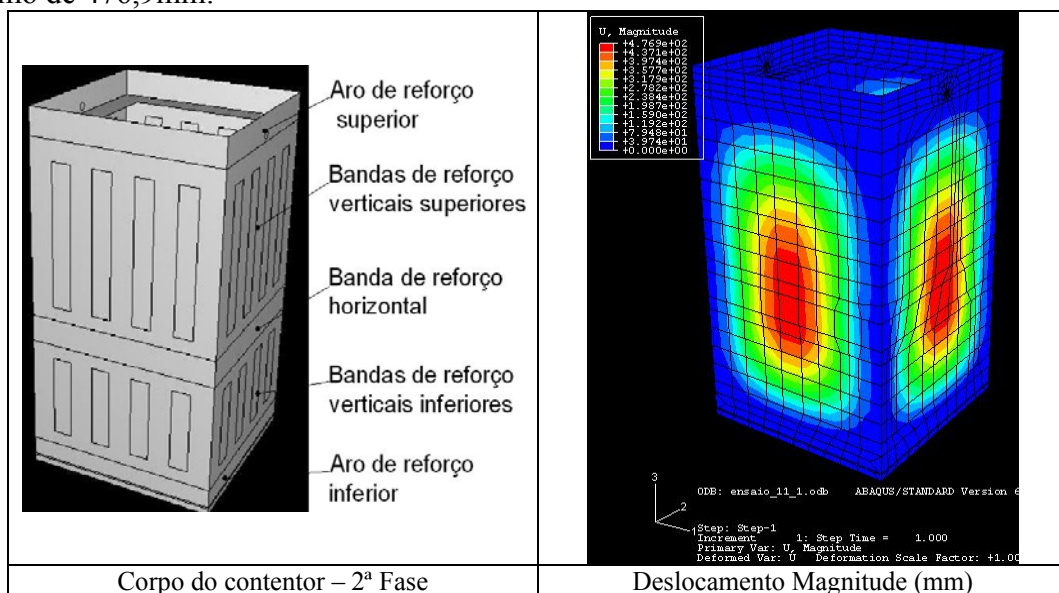


Figura 2.2.16 - Modelo otimizado – 2ª Fase

3ª Fase: Optimização das espessuras no corpo e bandas de reforço do contentor

A 3ª Fase do dimensionamento visou a determinação da espessura mínima necessária às diferentes bandas de reforço e ao corpo que possibilitem deslocamentos aceitáveis. Nesse sentido realizaram-se ensaios com diferentes espessuras para o corpo, $e = 8$ e 10mm , e para os reforços, $2e$, $3e$, ..., $7e$.

Verificou-se o efeito do aumento da espessura dos reforços nos deslocamentos obtidos:

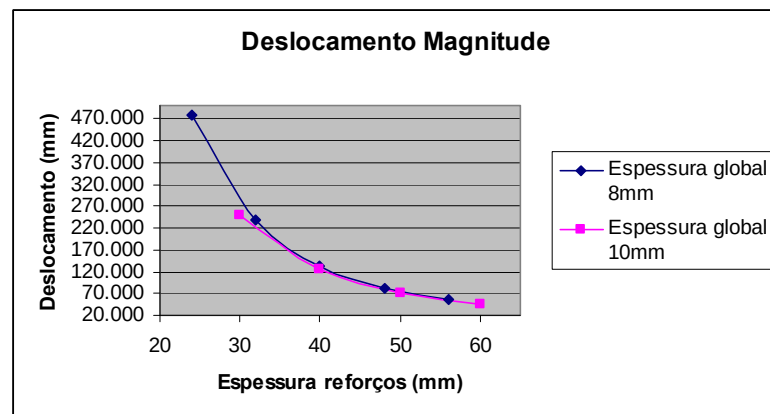


Figura 2.2.17 - Efeito do aumento da espessura dos reforços – Deslocamento Magnitude

Optimizar a aplicação dos reforços do corpo do contentor, chegando à espessura ideal e necessária para cada zona. Determinou-se que as espessuras a aplicar aos reforços para os próximos ensaios deveriam ser:

- Espessura bandas de reforço verticais superiores: 32mm
- Espessura banda de reforço horizontal: 40mm
- Espessura bandas de reforço verticais inferiores: 24mm

4ª Fase: Modelação e ensaio do corpo do contentor com reentrâncias como reforços para verificação dos resultados

Procedeu-se nesta fase a um redimensionamento do contentor diminuindo a secção de 1500×1500 para 1350×1350 garantindo-se folgas suficientes para facilitar a recolha do contentor e converteram-se os reforços sob a forma de sobreespessuras para reentrâncias de modo a verificar os resultados.

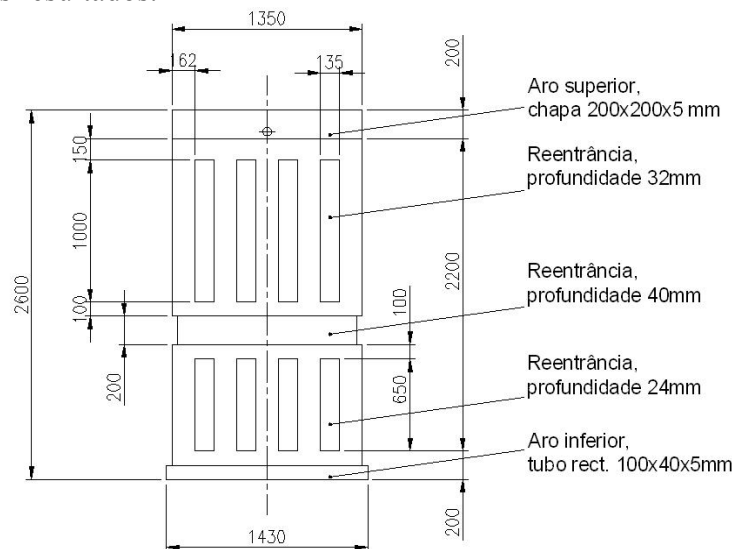


Figura 2.2.18 - Configuração do corpo do contento – 4ª Fase

As condições de fronteira mantêm-se nesta fase procedendo-se no entanto à determinação dos novos valores de carga fruto do redimensionamento do corpo do contentor. Obteve-se um deslocamento máximo de 90,640mm para a configuração adoptada para o corpo do contentor com 10mm de espessura:

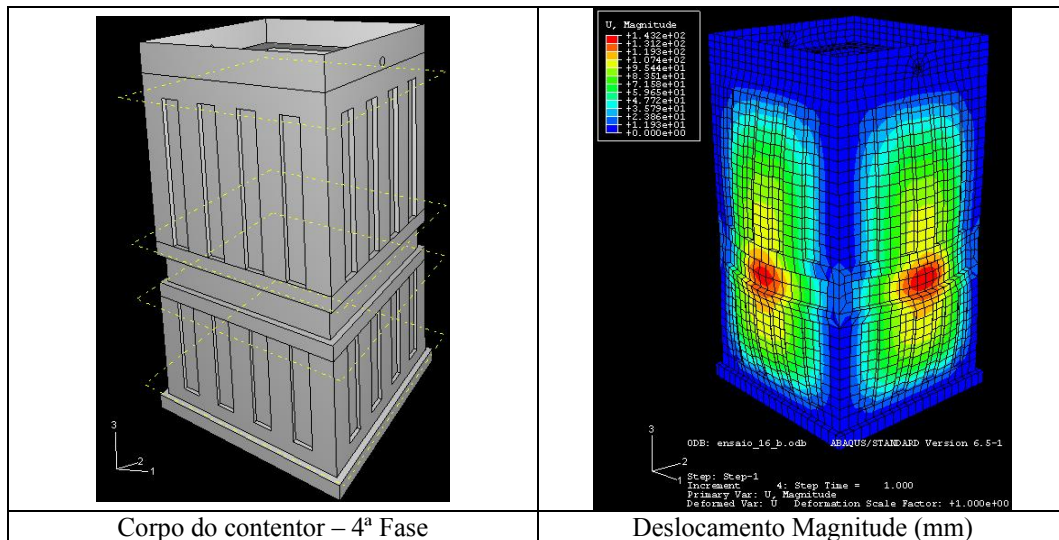


Figura 2.2.19 - Corpo do contentor com reentrâncias como reforços

A transição dos reforços maciços para as reentrâncias transformando a sobresspessura em profundidade conduziu a bons resultados. A maior complexidade na modelação deste tipo de geometria impediu que os estudos prévios fossem realizados desta forma.

5ª Fase: Dimensionamento do fundo do contentor com as reentrâncias como reforços

Nesta fase abordou-se a questão do fundo definindo-se a geometria e a aplicação de um aro de reforço que permitirá a ligação ao corpo.

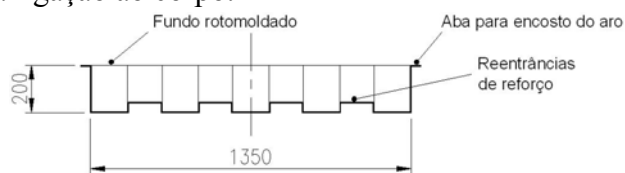


Figura 2.2.20 - Vista em corte do tipo de geometria adoptado

No dimensionamento do fundo do contentor em PEAD rotomoldado consideraram-se duas situações de carga diferentes, uma em que o fundo está assente numa base suportando o peso do contentor e outra em que o contentor está encastrado nos apoios circulares e o fundo suporta o volume de resíduos.

Testaram-se diferentes configurações para os reforços (reentrâncias), fazendo variar a profundidade, as dimensões e o n.º destes.

A configuração para o fundo que melhor cumpre os requisitos, apresenta um deslocamento máximo de 58,660mm na situação de carregamento em que o contentor é elevado.

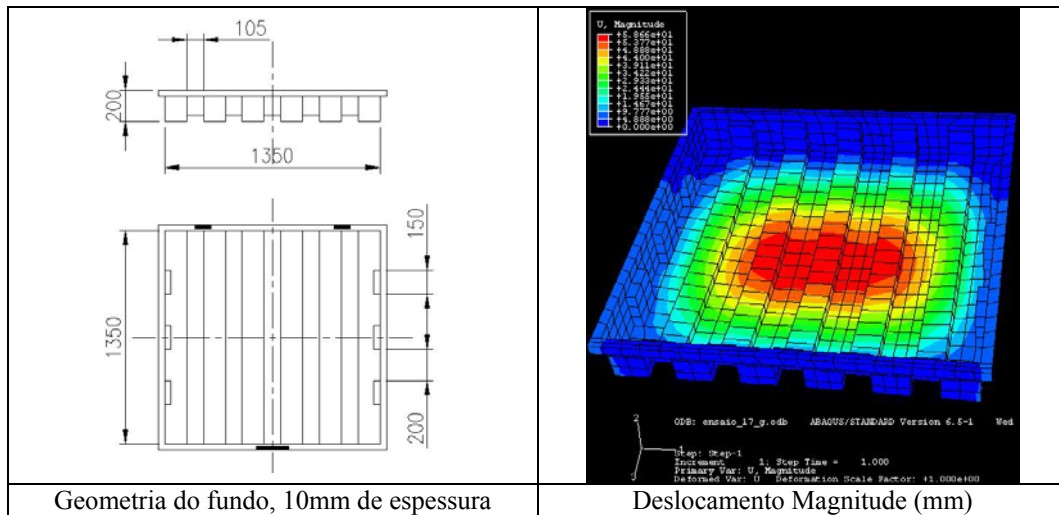


Figura 2.2.21 - Modelo otimizado – 5ª Fase

6ª Fase: Carregamento do conjunto Corpo do Contentor + Fundo, aplicação da geometria final

Com o estudo realizado nesta 6ª Fase analisou-se o comportamento do conjunto do contentor: corpo + fundo + aros de reforço, de acordo com as configurações otimizadas nas etapas anteriores. Testou-se igualmente a aplicação da estrutura de elevação do actual contentor de 5m³ da TNL.

O último reajuste na geometria do contentor permitirá melhorar a logística e o transporte do corpo do contentor aplicando uma inclinação de 2°, facilitando assim o empilhamento. A geometria troncocónica favorece também a resistência do contentor às cargas a que estará sujeito.

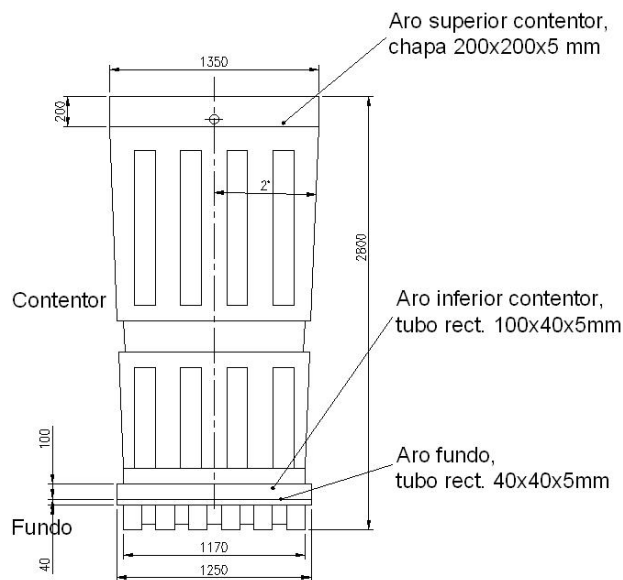


Figura 2.2.22 - Geometria final – Corpo + Fundo + Aros de Reforço

Os deslocamentos máximos obtidos para o carregamento do conjunto foram 87,210mm nas paredes do contentor e de 39,110mm no fundo:

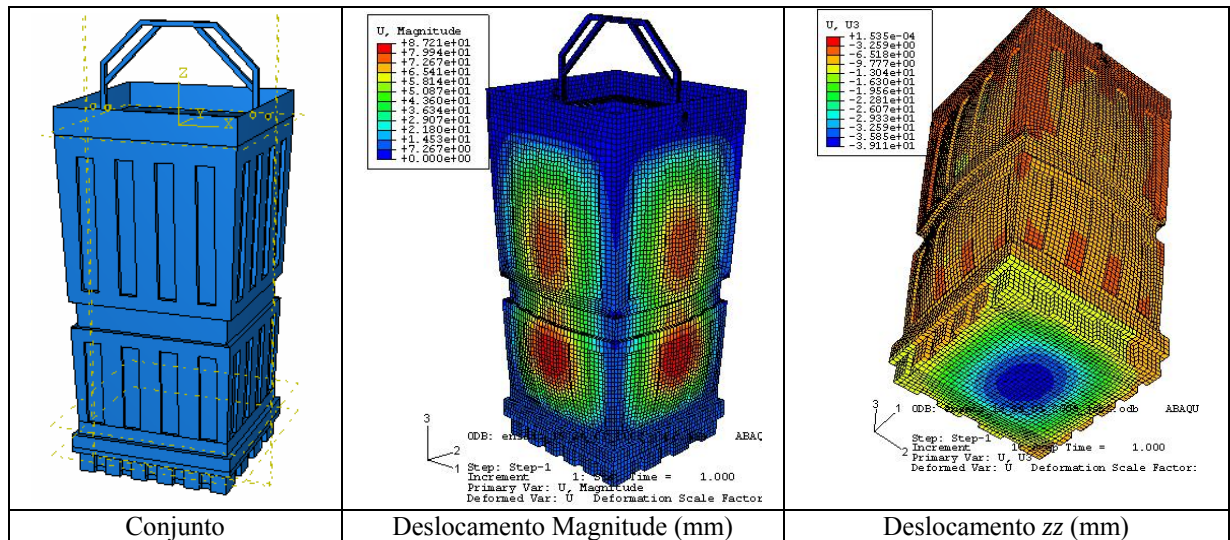


Figura 2.2.23 - Modelo final

A estrutura de elevação revelou-se resistente e bem dimensionada para esta aplicação.

Finalizou-se assim o dimensionamento do contentor. A etapa seguinte consistiu na modelação 3D do *Novo Contentor 5m³* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer*.

2.2.3 Apresentação dos resultados e protótipos desenvolvidos

O estudo e desenvolvimento do *Novo Contentor 5m³* englobando as etapas de estudo do processo de Rotomoldagem e dimensionamento do contentor permitiu chegar à seguinte solução,

Configuração final desenvolvida para o *Novo Contentor 5m³*:

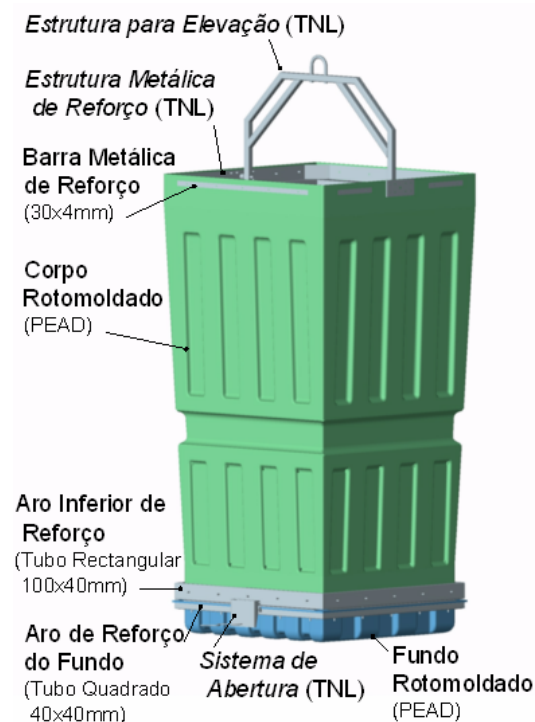


Figura 2.2.24 - Novo Contentor 5m³

Estrutura para Elevação (TNL)

Esta estrutura usada no actual contentor de 5m³ da TNL deverá ser mantida para aplicação no novo contentor desenvolvido. A análise de elementos finitos realizada ao conjunto revelou que a estrutura está bem dimensionada para a solicitação a que é sujeita apresentando um deslocamento máximo de aproximadamente 6mm nas piores condições de carga.

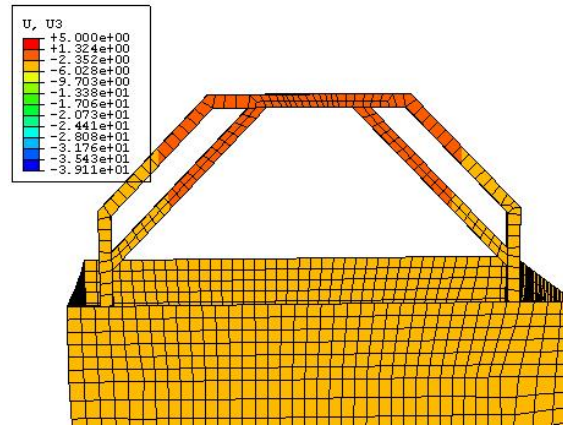


Figura 2.2.25 - Deslocamento zz (mm), limitado a 5mm – pormenor asa

As tensões verificadas na *Estrutura para Elevação*, exceptuando a zona do encastramento do modelo mas que na realidade é livre de rodar, apresentam valores próximos dos 100MPa, para as piores condições de carga.

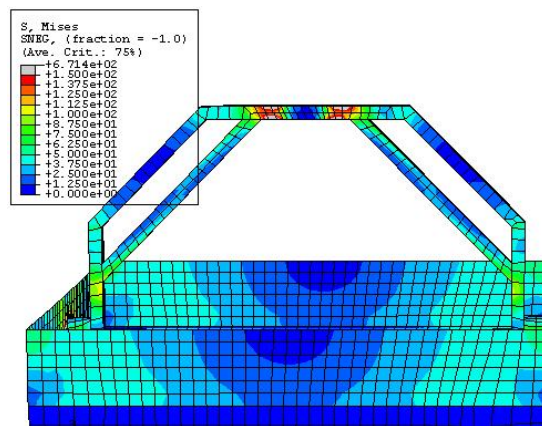


Figura 2.2.26 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 150MPa – pormenor asa

Por estas razões se considera viável a aplicação da *Estrutura para Elevação* ao Novo Contentor 5m³.

Estrutura Metálica para Reforço (TNL)

A necessidade de aplicar um aro metálico de reforço superior e interior ao corpo do contentor revelou-se essencial para garantir estabilidade para a *Estrutura para Elevação* e para assegurar deslocamentos aceitáveis nas paredes do contentor. De facto dadas as cargas a que o contentor é sujeito seria muito difícil não colocar este aro de reforço. A opção em manter a actual estrutura de reforço da TNL prende-se com o facto de haver já garantia de funcionalidade e resistência às solicitações em questão, que permanecem inalteradas.

A ligação da *Estrutura Metálica para Reforço* ao corpo do contentor é assegurada por parafusos de Cabeça Hexagonal M10, e por barras metálicas de reforço. A aplicação das barras no exterior do corpo do contentor permitem por um lado que o aperto dos parafusos

seja mais eficaz entre estas e a *Estrutura Metálica para Reforço* e por outro, sendo o aperto uniforme ao longo das barras e não pontual, impedem que com o passar do tempo devido aos ciclos de carga o parafuso acabe por romper o polímero, como acontece por vezes com o actual contentor da TNL.

Corpo Rotomoldado

O estudo desenvolvido para o corpo em PEAD rotomoldado do contentor permitiu otimizar 4 reentrâncias verticais em cada parede do contentor e uma reentrância horizontal localizada a 250mm do centro do contentor. A espessura de material foi de 10mm e a profundidade necessária para cada reentrância foi de: 24mm para as reentrâncias verticais inferiores, 40 mm para a reentrância horizontal e 32mm para as reentrâncias verticais superiores.

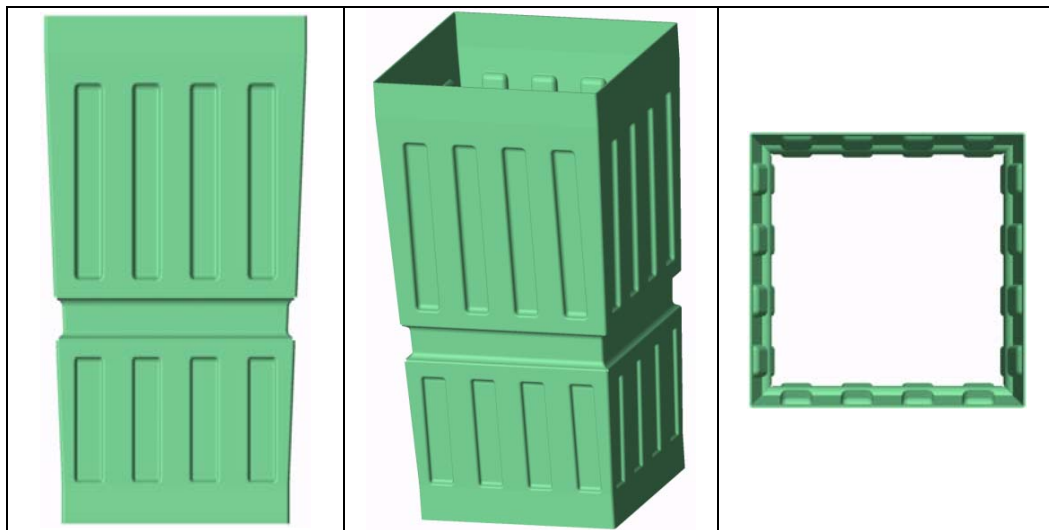


Figura 2.2.27 - Corpo Rotomoldado

Com o dimensionamento do corpo do contentor chegou-se a uma configuração que garante deslocamentos máximos de 87,210mm para a pior situação de carga e que se consideram aceitáveis para a dimensão do contentor.

Dadas as dimensões de 1500x1500 para acomodar o contentor que apresenta uma secção quadrada com 1350x1350 na parte superior, existe uma folga de 75mm em cada parede. Visto os deslocamentos máximos situarem-se na parte inferior do corpo, não constituem complicações na recolha do contentor do equipamento.

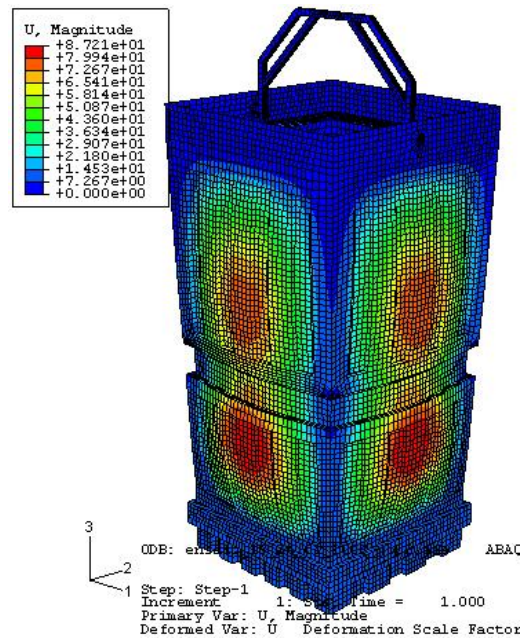


Figura 2.2.28 - Deslocamento Magnitude (mm)

Comparativamente ao contentor actual, o corpo do rotomoldado do *Novo Contentor de 5m³* apresenta uma geometria mais simples consistindo num módulo apenas e como tal o custo de produção do molde será mais baixo.

Aro Inferior de Reforço

A aplicação deste aro em tubo rectangular é muito importante na medida em que aumenta a resistência do corpo do contentor numa das zonas mais críticas, a parte inferior, fruto do perfil de pressão hidrostático do volume de resíduos. O aro inferior oferece também a estabilidade necessária para a fixação e bom funcionamento do fundo e *Sistema de Abertura*. É possível a aplicação deste aro de reforço em chapa quinada mas acabaria por ser uma solução mais cara pela necessidade de ter uma secção fechada para aumentar a resistência. O aro em tubo rectangular 100x40mm acaba por ser uma solução compacta e de elevada resistência para o rebordo inferior do contentor.

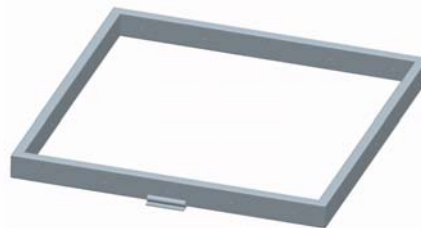


Figura 2.2.29 - Aro Inferior de Reforço

A ligação do aro inferior de reforço ao corpo do contentor é também assegurada por parafusos de Cabeça Hexagonal M10, e por barras metálicas de reforço pelas mesmas razões apresentadas anteriormente. Porém nesta situação as barras são aplicadas no interior do contentor. Como tal, estas barras devem ser em aço inox para resistir melhor ao ambiente agressivo a que estarão sujeitas. Também os parafusos aqui aplicados devem ser em aço inox, havendo o cuidado de os posicionar com a cabeça para interior, ou seja, a porca pelo exterior do contentor para diminuir a possibilidade de resíduos se irem acumulando nesses sítios. Esta solução constitui uma correcção ao actual contentor onde os parafusos aplicados na parte inferior sofrem de corrosão extrema acabando por partir.

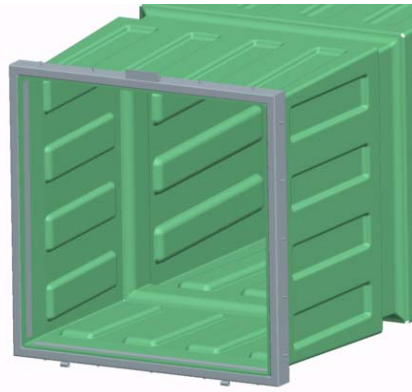


Figura 2.2.30 - Pormenor ligação aro inferior ao corpo do contentor

Fundo Rotomoldado

O fundo rotomoldado aqui desenvolvido apresenta 5 reentrâncias de reforço na direcção das ligações ao corpo do contentor e 3 na direcção oposta que é menos solicitada.

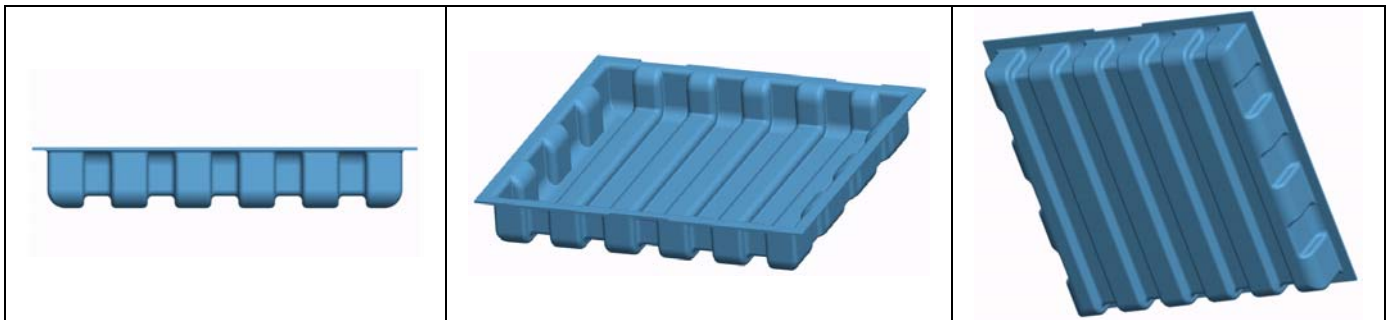


Figura 2.2.31 - Fundo Rotomoldado

O estudo efectuado permitiu determinar uma profundidade de 40mm para as reentrâncias e uma espessura global de 10mm oferecendo resistência suficiente ao fundo para as cargas a que estará sujeito. De acordo com a análise de elementos finitos realizada, nas piores condições de carga o fundo sofrerá um deslocamento máximo segundo a direcção dos zz de 39,110mm o que se considera ser um valor aceitável dadas as dimensões do contentor.

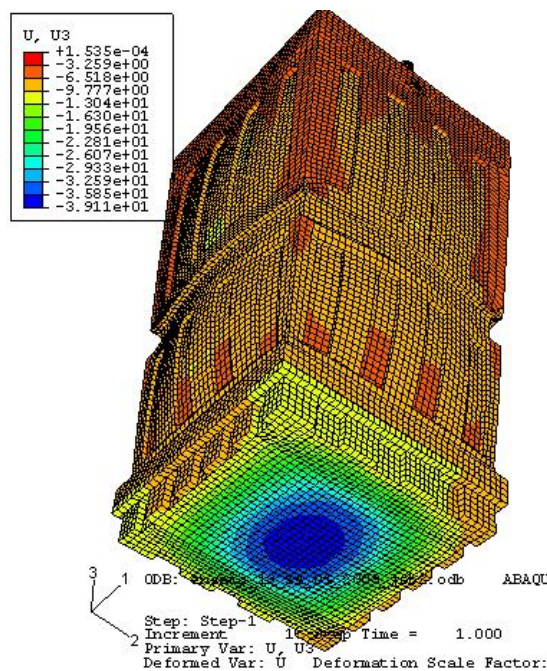


Figura 2.2.32 - Deslocamento zz (mm) – pormenor do Fundo

Aro de Reforço do Fundo

Ficou claro no dimensionamento do fundo rotomoldado a necessidade de empregar um aro metálico de reforço que conferisse a resistência necessária ao rebordo do fundo. Além disso o aro permite que o fundo fique totalmente apoiado sobre este ao longo da uma aba favorecendo a distribuição das cargas.



Figura 2.2.33 - Aro de Reforço do Fundo

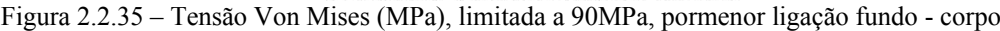
A aplicação do aro em tubo quadrado 40x40mm soluciona a ligação do fundo ao corpo do contentor, juntamente com o aro inferior do corpo. Entre estes dois aros é possível aplicar as dobradiças e o *Sistema de Abertura* do fundo.

Neste estudo adoptaram-se as dobradiças e o *Sistema de Abertura* existentes no actual contentor da TNL para esta nova solução. Admitiu-se que o dimensionamento já efectuado desses componentes foi feito para os valores de carga (volume de resíduos) do contentor actual e que se mantêm visto a capacidade do contentor permanecer inalterada.



Figura 2.2.34 – Fundo com aro de reforço e olhais das dobradiças

De qualquer das formas o estudo de elementos finitos realizado no *ABAQUS* permitiu verificar o que acontece ao nível das tensões nas zonas de ligação entre os aros. Na superfície de contacto e ligação entre os aros observa-se uma tensão máxima de 90MPa numa pequena área. Não sendo um valor problemático decidiu-se no entanto aplicar uma chapa cobre juntas para reforçar a zona dos olhais das dobradiças e do *Sistema de Abertura* do fundo.



Uma das alternativas seria aplicar as barras de reforço no interior das paredes do fundo com os parafusos na posição horizontal da mesma forma como acontece para a fixação do aro do corpo, possibilitando o encosto total entre as faces do aro inferior do corpo e a aba do fundo. No entanto esta solução implicaria uma de duas adaptações: que as reentrâncias não se prolonguem até a aba superior, piorando a resistência do fundo rotomoldado como se evidenciou no estudo efectuado (ANEXO B, 4ª Fase, Ensaio 6), para permitir a aplicação das barras do lado interior; ou que, mantendo as reentrâncias até a aba se apliquem pequenas secções de barra entre as reentrâncias.

Na tentativa de perceber o que foi melhorado e corrigido em relação ao actual contentor de 5m³ com a realização deste projecto, faz-se agora uma breve análise aos requisitos e às soluções propostas.

Tabela 2.2.3 - Requisitos de projecto dimensionais

- 49 -

Outros melhoramentos

- Substituiu-se o actual corpo do contentor composto por 2 módulos rotomoldados por um corpo único com maior resistência.
- Substituiu-se o fundo em chapa metálica do actual contentor pelo fundo rotomoldado, que trouxe maior leveza ao conjunto, acabando por se tornar uma solução mais barata em termos de material utilizado.
- Diminuiu-se a secção (largura x profundidade) do contentor, aumentando as folgas em cada lado de 25 para 75mm na parte superior, sem prejuízo do volume e de modo a facilitar a recolha.
- Aplicaram-se barras de reforço para a fixação dos aros ao corpo e fundo rotomoldados melhorando o aperto entre as partes e impedindo que os parafusos a longo prazo possam romper o polímero.
- Substituíram-se os parafusos Auto-Roscantes que fixam o fundo no contentor actual por parafusos M10 de Cabeça Hexagonal em aço inox, prevenindo a corrosão.
- Foram estudadas novas soluções para o sistema de abertura/fecho mas a situação actual continua a ser a mais funcional e simples por isso manteve-se.

- Testes de carga

Relativamente aos testes de carga simulados no *ABAQUS* ao *Novo Contentor 5m3* com a configuração final obtiveram-se os seguintes deslocamentos máximos na situação em que o contentor é elevado na recolha:

Tabela 2.2.4 - Deslocamentos máximos obtidos

Norma	Densidade Máxima (kg/m ³)	Deslocamento Máximo (mm)	
		Paredes do corpo	Base do fundo
EN 13071	800	87,200	39,110
EN 840	400	43,600	19,560

2.2.4 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

A realização deste importante trabalho compreendeu todas as fases de projecto desde a elaboração das especificações, à pesquisa de mercado, ao estudo do processo de fabrico e dimensionamento do contentor.

A pesquisa bibliográfica efectuada acerca da Rotomoldagem permitiu verificar as ilimitadas possibilidades de design e projecto associadas a baixos custos de produção oferecidas por este processo de moldação.

Estudou-se os contentores da concorrência semelhantes ao aqui desenvolvido no que diz respeito, ao modo de fabrico e materiais, arquitectura, tipo de equipamento que aloja o contentor e sistemas de elevação e abertura do fundo, tentando compreender quais as vantagens e desvantagens de cada um.

Desenvolveu-se o *Novo Contentor de 5m³* para a empresa TNL cumprindo todos os requisitos especificados.

Estudou-se as condições de aplicação de cargas no contentor e o tipo de solicitação a que o corpo e o fundo estarão sujeitos em conjunto e isoladamente. Dimensionaram-se estes utilizando o MEF, desenvolvendo-se capacidades e conhecimentos ao nível da utilização do software de simulação, ABAQUS. Analisou-se a aplicação de espessuras e de reforços com diferentes configurações até se atingir bons resultados e conseguindo um compromisso entre resistência do contentor e baixo custo dos moldes e matéria-prima (PEAD).

Aplicaram-se aros de reforço ao rebordo inferior do corpo do contentor e ao fundo, melhorando a resistência destes e possibilitando a estabilidade necessária à aplicação de dobradiças e do sistema de abertura do fundo.

Melhoraram-se alguns aspectos do contentor tais como, os problemas de recolha, as ligações aos aros de reforço, a produção do corpo em dois módulos e as elevadas deformações.

A substituição do fundo em chapa metálica por um fundo em PEAD rotomoldado consistiu numa das maiores modificações à arquitectura do contentor e uma das mais importantes, visto ser a solução para os problemas de corrosão e por se tornar uma hipótese mais barata.

A solução final do *Novo Contentor de 5m³* garante deslocamentos máximos nas paredes do contentor de apenas 87,2mm para a pior situação de carga (3576kg), que para as dimensões do contentor e para as cargas que suporta se consideram bastante aceitáveis, não pondo em risco o seu bom funcionamento.

A etapa seguinte deste projecto consiste no desenvolvimento do molde para o corpo e para o fundo do contentor e na produção do protótipo para a realização dos testes de carga exigidos pelas normas vigentes.

2.3 Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos

Durante este projecto procedeu-se à modificação de marcos de deposição de resíduos e ao cálculo e adaptação de sistemas mecânicos a esses mesmos marcos.

2.3.1 Apresentação e requisitos dos problemas tratados

E) Marco Oporto com Kit Anti-Fogo

O marco *Oporto*^{*} é um dos modelos de marcos da empresa TNL e aquele mais comercializado.

Por vezes fruto da introdução indevida ou negligente de objectos em chama no marco e como não existe uma barreira entre o interior deste e o contentor no equipamento, que impeça a deflagração de fogo acontecem pequenos incêndios que chegam a consumir parcialmente o contentor.

Este tipo de situações embora escassa ocorre mais facilmente no contentor para papel.

^{*}Este marco é caracterizado com mais detalhe na secção: 2.1 Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos, D) *Marco Oporto Big*

Requisitos do trabalho

Neste trabalho foi proposto adaptar ao marco *Oporto* um sistema tipo alçapão capaz de evitar a ocorrência de fogos no interior do contentor de papel.

Este sistema deve servir de barreira entre o interior do marco e o contentor e ser capaz de reter resíduos durante algum tempo ou até uma determinada quantidade se acumular, protegendo o papel e o contentor de algum tipo de chama. Caso se introduza um objecto em chama este ficará retido nessa barreira, extinguindo-se a chama.

F) Marco *Bigtainer* com Tampa

O marco *Bigtainer* é semelhante ao marco *Oporto* na estrutura e sistema de abertura (tambor) no entanto possui maiores dimensões e como tal maior capacidade de deposição de resíduos.

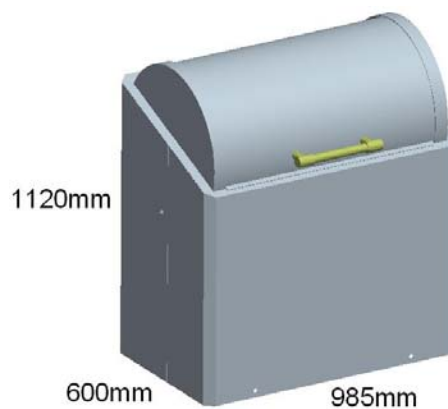


Figura 2.3.1 - Marco *Bigtainer* com dimensões exteriores (mm)

Requisitos do trabalho

Para uma aplicação específica foi proposto alterar este marco reduzindo a altura de 1120 para 800mm, substituindo o tambor por uma tampa e condicionar a sua utilização aplicando uma fechadura ao sistema de abertura.

Dadas as dimensões e massa da tampa, a abertura e fecho desta deveriam ser auxiliadas por 1 ou 2 cilindros a gás. Na posição da tampa aberta (90°) os cilindros a gás não poderiam estorvar a deposição de resíduos ou estarem numa posição susceptível de serem atingidos com resíduos. Foi também indicado que os cilindros a gás deveriam ficar ocultos à visualização dos utilizadores.

2.3.2 Procedimento Experimental

E) Marco *Oporto* com Kit *Anti-Fogo*

Este trabalho iniciou-se com a concepção do sistema do alçapão, *Kit Anti-Fogo*. O sistema seria um alçapão duplo constituído por duas chapas em aço inox, cada uma das quais fixa a uma cantoneira que por sua vez seria ligada por parafusos na parte inferior do marco *Oporto*. Nos olhais da ligação chapa – cantoneira seria aplicada uma mola de torção que teria como função manter o alçapão fechado na posição horizontal. À medida que se iria depositando

resíduos (papel) no marco, estes ficariam retidos no alçapão acumulando-se até se atingir uma determinada massa de papel que forçaria a abertura.

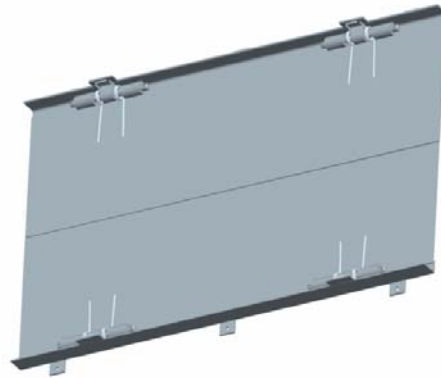


Figura 2.3.2 - Alçapão duplo – Kit Anti-Fogo

Este tipo de solução permite que o *Kit Anti-Fogo* possa ser aplicado em marcos já instalados.

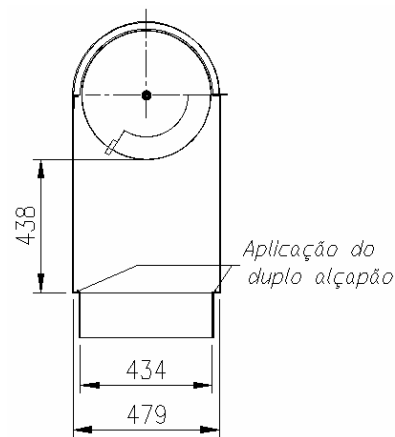


Figura 2.3.3 – Local de aplicação do Kit Anti-Fogo no marco Oporto (cotas em mm)

Determinação da massa de papel

Em seguida foi necessário determinar qual seria a massa de papel predefinida para abrir o alçapão. Este cálculo teve de ser muito aproximativo dadas as características dos resíduos em questão, que podem ter diversas formas e tamanhos, desde um livro a uma caixa de papel. Tomou-se como referência o valor médio da densidade média do papel/cartão no contentor não compactados: 90 kg/m^3 . Este valor porém não é de todo correcto para este caso. A densidade nesta situação será mais baixa uma vez que tratando-se de um volume bastante menor comparativamente a um contentor a compactação decorrente da sobreposição dos resíduos no interior do marco é inferior. Admitiu-se então que a densidade do papel depositado e acumulado no interior do marco para efeito do presente estudo é de 60 kg/m^3 . A altura livre entre o alçapão e o tambor é de 438mm. Para o cálculo do volume de papel depositado considerou-se que a altura de 200mm, havendo ainda 238mm de folga para o tambor, de modo a evitar que resíduos de maiores dimensões encravem o tambor.

A massa predeterminada para a abertura do alçapão e dimensionamento da mola:

$$m = 0,434 \times 0,750 \times 0,200 \times 60 = 3,906 \text{ kg} \approx 4\text{kg}$$

Seleção da mola de torção*

Selecionou-se a mola a aplicar no alçapão de acordo com o momento aplicado a cada uma das molas. Uma vez que são 4 molas, 2 para cada chapa do alçapão o momento aplicado a cada uma delas é de 2159N.mm.

A partir do catálogo do fabricante *Lesjofors** seleccionou-se uma mola de torção dupla, com um momento máximo de $M_n = 5828\text{N.mm}$ e uma característica de $c = 50,8 \text{ N.mm/}^\circ$ que garante uma abertura de 43° de cada uma das chapas do alçapão à massa considerada.

Só na fase de testes do protótipo se poderá verificar se na realidade a mola seleccionada funciona conforme idealizado.

*O documento completo com os cálculos relativos à seleção da mola de torção e o catálogo utilizado podem ser consultados no ANEXO C.

A etapa seguinte deste trabalho consistiu na modelação 3D do *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer*, encomenda das molas e envio os desenhos para produção do protótipo.

F) Marco Bigtainer com Tampa

Este trabalho iniciou com a concepção da nova estrutura do marco e da tampa respeitando a altura máxima de 800mm. Toda a estrutura do marco e da tampa são em chapa quinada com reforços em cantoneira na zona central da estrutura e da tampa. Aplicou-se na tampa uma fechadura e a pega.

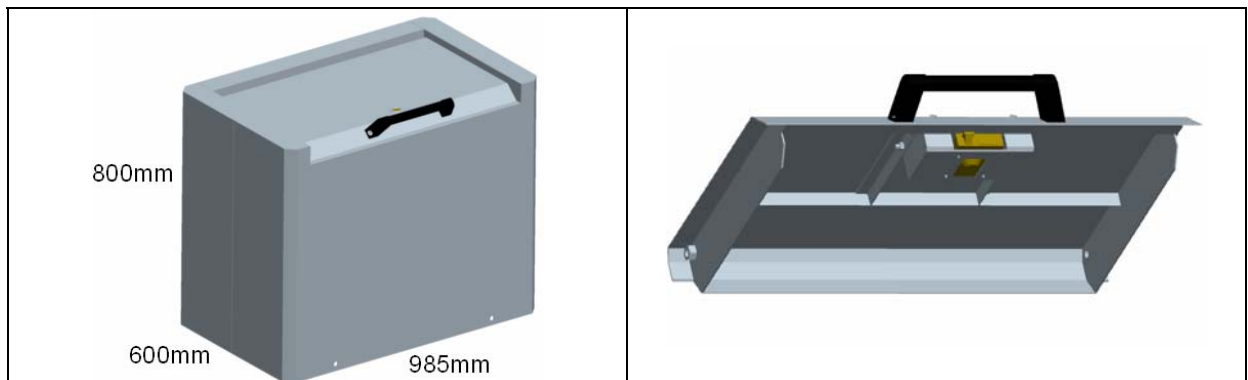


Figura 2.3.4 - Concepção da estrutura e tampa

Em seguida idealizou-se a disposição dos cilindros que obedecesse aos requisitos, não expondo os cilindros ao contacto com os resíduos nem à visualização por parte dos utilizadores. Definiu-se que a melhor opção seria aplicar 2 cilindros, um de cada lado da tampa.

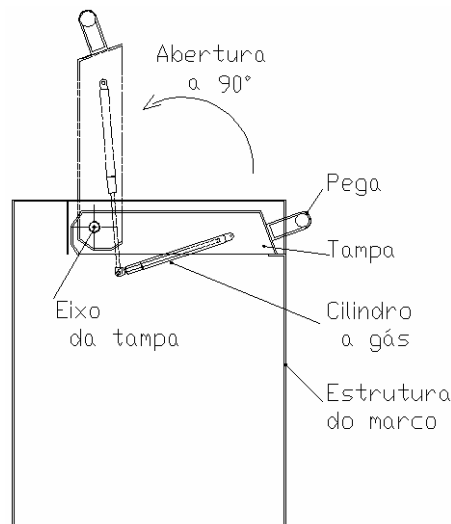


Figura 2.3.5 - Configuração idealizada para o *Marco Bigtainer com Tampa*

Por fim seleccionou-se o tipo de cilindro a gás* a aplicar de acordo com a massa total da tampa e o curso necessário para garantir a abertura a 90°.

Escolheu-se o cilindro *Lift-o-Mat** Ref. n.º082651 com um curso de 150mm e uma força nominal $F_1=100N$, no catálogo do fabricante *Stabilus*. Com a aplicação deste cilindro o utilizador no momento da abertura apenas necessita de exercer uma força de 16,5N para elevar a tampa com uma massa total de 14,687kg.

A etapa seguinte deste trabalho consistiu na modelação 3D do *Marco Bigtainer com Tampa* e desenvolvimento dos desenhos de definição 2D e lista de peças no *Pro-Engineer*, encomenda dos cilindros a gás e envio os desenhos para produção do protótipo.

*O procedimento de selecção do cilindro e o catálogo utilizado podem ser consultados no ANEXO D.

2.3.3 Apresentação e discussão dos resultados e protótipos desenvolvidos

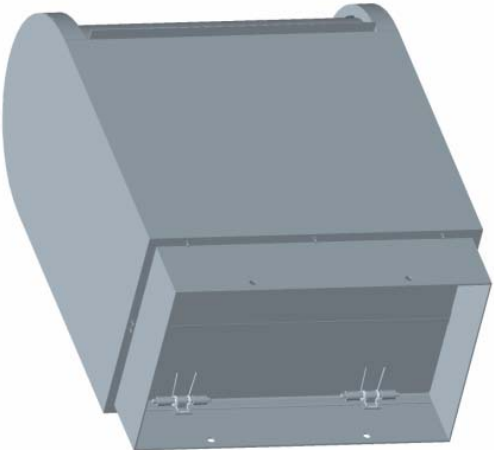
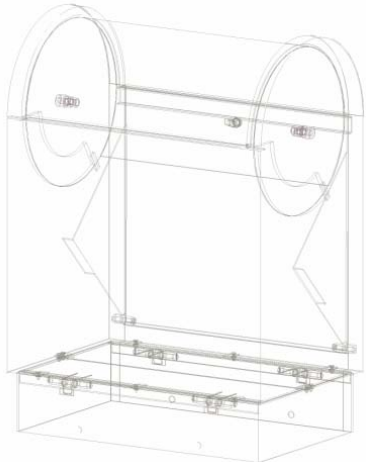
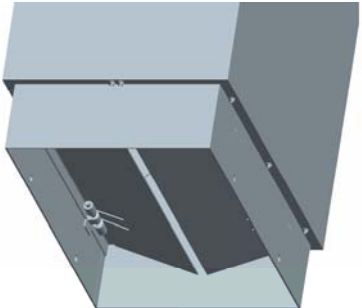
E) *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo*

Na altura da conclusão do presente relatório o protótipo do *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo* ainda estava em fase de produção não havendo possibilidade para registar essa etapa do trabalho.

Desse modo apresenta-se as imagens pormenores do alçapão do *Kit Anti-Fogo* desenvolvido para o *Marco Oporto* e modelados no *Pro-Engineer*.

O desenho 2D do conjunto *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo* pode ser consultado no ANEXO F.

Tabela 2.3.1 - Pormenores do alçapão duplo do *Kit Anti-Fogo*

Modelação 3D		
Pormenor alçapão fechado		
Pormenor alçapão aberto		

Relativamente aos resultados obtidos neste trabalho só a fase de testes do protótipo permitirá verificar a sua funcionalidade. De qualquer das formas é de esperar, como é obvio, que na realidade o comportamento das molas (e consecutivamente do alçapão) seja o de abrir à medida que os resíduos se vão acumulando, abrindo mais ou menos consoante a massa destes e de fechar em seguida. O maior problema poderá ser devido ao facto de o alçapão nunca fechar na totalidade, resta saber até que ponto isso prejudicará a retenção de objectos em chama depositados no marco.

Esta solução para o *Kit Anti-Fogo* acaba por ser simples, de fácil execução e aplicação podendo como já foi referido, ser facilmente instalado em marcos já em funcionamento.

Um sistema de contrapesos poderia também ser uma boa solução para esta situação, no entanto seria de difícil aplicação dado o atravancamento exigido para a sua acomodação no sistema de alçapão e as dimensões reduzidas da parte inferior do marco.

F) Marco Bigtainer com Tampa

Conseguiu-se modificar a estrutura do *Marco Bigtainer* reduzindo a altura e aplicando a tampa com abertura por cilindros a gás conforme os requisitos. Concebeu-se a tampa de forma a funcionar com fechadura e seleccionaram-se os cilindros com a força necessária para auxiliar a abertura e controlar o fecho da tampa.

Modelou-se o *Marco Bigtainer com Tampa* no *Pro-Engineer* e simulou-se a abertura da tampa pelos cilindros a gás.

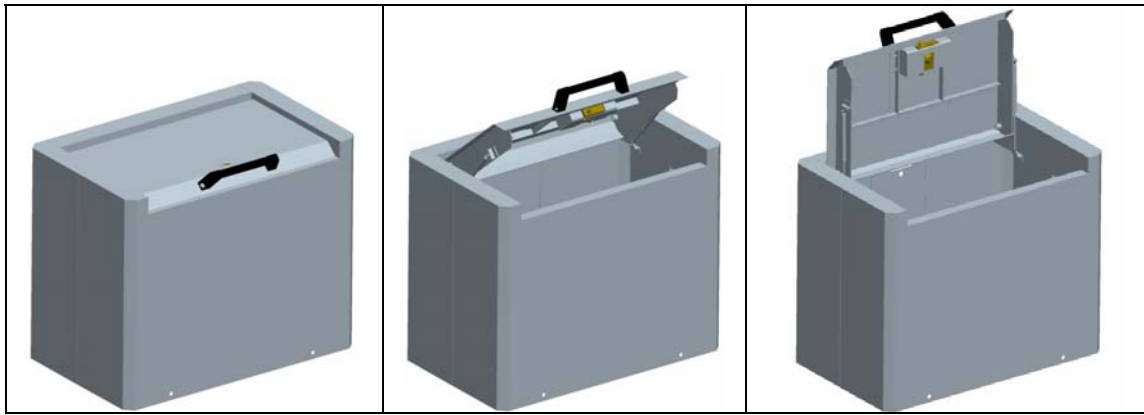


Figura 2.3.6 - Sequência de abertura da tampa do modelo do *Marco Bigtainer com Tampa*

Na montagem dos cilindros a gás no protótipo verificou-se que tal como previsto é necessário auxiliar com a mão o início do movimento de abertura da tampa, sendo suficiente um pequeno impulso para o conseguir, não havendo dificuldades para qualquer pessoa abrir a tampa. Por outro lado, na descida o movimento é bastante controlado e suave. Concluiu-se assim que a opção pelos cilindros de 100N em lugar dos de 150N para a força nominal calculada de 128,833N foi acertada.

Tabela 2.3.2 - Fotografias do protótipo do *Marco Bigtainer com Tampa*

Acompanhamento na produção do protótipo		
Tampa e estrutura		
Montagem da tampa com cilindros e sistema de fecho		



As imagens acima permitem observar que o posicionamento dos cilindros com a tampa aberta a 90° não coloca qualquer tipo de entraves à deposição de resíduos volumosos. Os cilindros a gás estão protegidos do contacto com os resíduos e parcialmente ocultos aos utilizadores.

O desenho 2D do conjunto *Marco Oporto Big* pode ser consultado no ANEXO F do relatório.

2.3.4 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Relativamente a cada um dos trabalhos efectuados neste projecto é possível concluir:

D) *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo*

Desenvolveu-se o sistema de alçapão para o *Kit Anti-Fogo* que implicou a aplicação e selecção de uma mola de torção dupla.

O estado da produção do protótipo do *Marco Oporto com Kit Anti-Fogo* à data de conclusão do relatório não permitiu realizar os testes necessários para a determinação da funcionalidade do alçapão. Contudo pensa-se que o alçapão é uma boa solução mas que poderá precisar de ajustes.

A importância deste trabalho esteve na exigência de uma solução que fosse simples e funcional para uma aplicação com factores imprecisos e que em certa medida carecem de mensurabilidade.

E) *Marco Bigtainer com Tampa*

A execução deste trabalho concluiu-se com sucesso cumprindo todos os requisitos propostos. Concebeu-se o sistema de abertura por tampa para o *Marco Bigtainer com Tampa*, onde se aplicou uma fechadura para condicionar o acesso e dois cilindros a gás para auxiliar a abertura e fecho.

O maior desafio do trabalho consistiu no estudo do melhor posicionamento para os cilindros a gás de modo a cumprir os requisitos e no procedimento de selecção dos cilindros e determinação final dos pontos de fixação à tampa e à estrutura.

O fabrico do marco e montagem da tampa e dos cilindros foi devidamente acompanhada e documentada através de fotografias.

Em suma, a realização deste projecto permitiu aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do curso, no desenvolvimento e cálculo de sistemas mecânicos para aplicação em situações específicas e para utilização real e concreta.

Uma vez mais houve oportunidade para acompanhar de perto a produção de protótipos e testar a sua funcionalidade em fábrica.

3 CONCLUSÃO

O presente relatório pretende descrever os trabalhos desenvolvidos em 3 grandes projectos que se realizaram ao longo do estágio na empresa TNL. As conclusões obtidas para cada um dos projectos foram sendo expostas nos capítulos anteriores, pelo que aqui nos limitámos a reuni-las de uma forma sintética.

No decorrer do **Projecto 1 – Modelação 3D de equipamentos**, estudou-se o software de modelação 3D *Pro-Engineer* e efectuaram-se trabalhos de redimensionamento de alguns equipamentos e desenvolvimento de novas soluções, como abordagem aos equipamentos da empresa.

Estes trabalhos implicaram o estudo e pesquisa de vários sistemas de recolha de resíduos sólidos urbanos e possibilitaram o acompanhamento da produção de protótipos em metalomecânicas onde foi possível ampliar os conhecimentos nessa área.

Durante o **Projecto 2 – Desenvolvimento de um novo contentor de 5m³**, verificou-se a potencialidade da Rotomoldagem para obtenção de peças com ilimitadas possibilidades de design e associadas a baixos custos de produção. Estudou-se e desenvolveu-se o *Novo Contentor de 5m³* pelo Método de Elementos Finitos, optimizando a espessura e os reforços que melhor respondem ao tipo de solicitação a que estará sujeito. Suprimiram-se as deficiências do actual contentor e apresentaram-se algumas inovações.

Modelou-se o contentor no *Pro-Engineer* e desenvolveram-se os desenhos para o fabrico do molde.

A realização do **Projecto 3 – Cálculo de sistemas mecânicos e hidráulicos**, abordou a adaptação de sistemas mecânicos a marcos de deposição de resíduos onde foi necessário seleccionar uma mola de torção dupla e um cilindro a gás.

Numa perspectiva mais global acerca dos trabalhos efectuados em estágio e relativamente a uma componente mais técnica é de salientar a aprendizagem do software *Pro-Engineer* e do módulo *Pro-Mechanism* e a noção da sua importância como ferramentas imprescindíveis em Projecto Mecânico, a desenvoltura adquirida no manuseio do software *ABAQUS* e a apreensão de conhecimentos ao nível da Rotomoldagem e da indústria Metalomecânica.

Destaca-se ainda o desenvolvimento das capacidades organizativas e de cooperação patentes no desenvolvimento de vários projectos simultaneamente e no acompanhamento da produção e instalação de protótipos e o contacto com os procedimentos de planeamento e fases de projecto.

Este estágio permitiu a aplicação de conhecimentos, adquiridos ao longo do curso, através da resolução de problemas da área de conhecimento da opção de Projecto e Construção

Mecânica, fomentou o desenvolvimento de capacidades de iniciativa, de decisão e a integração em ambiente empresarial.

4 BIBLIOGRAFIA

A Designers Guide to Rotational Molding; Pan-European Rotomoulding Conference; Belgium; November 17th – 19th; 2000.

Alves FJL; Protoclick – Prototipagem Rápida; Leça do Balio; 2001.

Beer FP, Johnston ER; Mecânica Vectorial para Engenheiros; McGraw-Hill; 6ª Edição, 1998.

Crawford RJ; Design for Stiffness in Rotationally Moulded Plastic Parts; University of Auckland; New Zealand.

Farinha JS, Reis AC; Tabelas Técnicas, Edição P.O.B.; 1993.

Timoshenko S, Krieger S; Theory of Plates and Shells; McGraw – Hill; 2nd Edition; 1959.

Laranjeira LC; Desenvolvimento de Sistemas de Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos – ANEXOS E e F; 2008.

Marques JL, Oliveira JH; Princípios da Tecnologia da Moldagem Rotacional de Plásticos; Universidade Federal de Santa Maria – RS.

Stampaggio Rotazionale in Polietilene; AISR –Associazione Italiana Stampaggio Rotazionale; 1995.

Websites consultados:

Dictator – Hydraulic Dampers; www.dictator.de

Ilhas Ecológicas – José Manuel Novo; www.ilhasecologicas.com

Lesjöfors – Wire & Strip; www.lesjoforsab.com

Matweb – Online Materials Information Resource; www.matweb.com

Molok; www.molok.com

Plastic Omnium – Bacs Roulants; www.plasticomnium.com

Rotational Design; www.rotationaldesign.it

Rotational Moulding; www.rotationalmoulding.com

Rotomoulding – Rotational Moulding, Rotomolding Machine; www.rotomould.in

Siderpinhos – Produtos Siderúrgicos; <http://siderpinhos.com>

SPE – Society of Plastics Engineers; www.4plasticsresearch.org

Stabilus – Worldwide Manufacturer of Gas Springs and Damping Systems;
www.stabilus.com

TNL – Sociedade de Equipamentos Tecnológicos e Sistemas Ambientais; www.tnl.pt

ANEXO A

Pesquisa Bibliográfica sobre o processo de Rotomoldagem

Introdução

A Rotomoldagem/Rotomoldação foi desenvolvida na Inglaterra, pelo britânico Sir Peters que patenteou o conceito básico do processo para distribuir uniformemente o material sobre as superfícies internas de um molde por rotação biaxial. Porém, somente em meados de 1950, com a introdução do polietileno micronizado, o processo mostrou a sua potencialidade. Desde então, a indústria da Rotomoldagem tem evoluído a ritmo constante e vindo a afirmar-se como o processo de moldação que mais se desenvolve e diversifica no mundo.

A Rotomoldagem é um processo de moldação de resinas poliméricas em que, pela rotação biaxial (em dois eixos simultâneos) de um molde aquecido se obtêm peças de grande ou pequena dimensão, ocas ou abertas em série. É um processo que permite ilimitadas possibilidades de design associadas a baixos custos de produção.

O termoplástico é aplicado às resinas que possam ser aquecidas e que o seu processamento origine peças com formas. O processo de modelação das resinas não envolve qualquer reacção química, mas apenas a mudança do seu estado físico. Existem diversos tipos de resinas termoplásticas que podem ser utilizadas no processamento por rotomoldagem; Polietileno, Polipropileno, Policarbonato, Nylon e PVC são alguns dos exemplos.

O processo de Rotomoldagem

O processo de Rotomoldagem pode ser descrito em 4 fases:

Tabela A.1 – Fases do processo de Rotomoldagem

Fase 1: Carregamento	Fase 2: Aquecimento	Fase 3: Arrefecimento	Fase 4: Desmoldação
			
O molde metálico é carregado com um quantidade previamente medida de polímero (geralmente em pó) em seguida é fechado com auxílio de grampos ou parafusos e segue para o aquecimento.	O molde é aquecido externamente até altas temperaturas enquanto roda biaxialmente. O polímero amolece e adere à superfície interior do molde formando uma camada de espessura uniforme.	O molde é arrefecido à temperatura ambiente, jacto de ar frio ou água, mantendo as rotações biaxiais até o polímero solidificar ao ponto de resistir aos esforços de extracção do molde.	A peça obtida é retirada do molde continuando o arrefecimento à temperatura ambiente e reiniciando-se o ciclo.
O tempo de ciclo pode variar entre 20 minutos a 1 hora			

Fase 1: Carregamento

Nesta fase o molde é alimentado com uma quantidade pré-determinada de material. O material pode estar na forma pastosa, como PVC, ou na forma de pó, como polietileno, polipropileno e nylon. Após a alimentação, o molde é fechado com auxílio de grampos ou parafusos, e segue para a próxima etapa, o aquecimento.



Figura A.1 - Carregamento manual do molde

Fase 2: Aquecimento

Após o carregamento do molde, o mesmo é conduzido para um forno onde inicia um movimento de rotação biaxial nos eixos maior e menor do molde. O efeito sinérgico entre o calor recebido do forno e a movimentação biaxial resulta num aquecimento uniforme do material no interior do molde. Quando a temperatura no interior do molde alcança a temperatura de amolecimento do polímero, o mesmo começará a aderir à superfície do molde, iniciando um processo de sinterização e a formação de uma estrutura reticular tridimensional. Com continuidade do aquecimento o material começará a fundir e a estrutura formada colapsará. Com o colapso da estrutura, o ar que estava junto com as partículas de pó é retido, formando-se bolhas. Estas bolhas, se permanecerem na peça, resultam em perdas nas propriedades mecânicas, principalmente a resistência ao impacto. Para a eliminação destas bolhas é necessário dar continuidade ao aquecimento após a fusão do material. A continuidade do aquecimento resulta numa diminuição da viscosidade do polímero, o que torna mais fácil o processo de dissolução do ar pela matriz polimérica, até que a maioria das bolhas tenha sido eliminada. Se este aquecimento adicional for prolongado, a peça resultante não apresentará bolhas, porém exibirá degradação termo-oxidativa na sua superfície interna, com acentuada perda de resistência mecânica. A condição ideal de moldagem será alcançada

quando a peça apresentar algumas bolhas próximas à superfície interna, sem apresentar degradação termo-oxidativa.



Figura A.2 - Aquecimento do molde em forno

Fase 3: Arrefecimento

O molde ainda em movimento rotacional é conduzido para fora do forno até uma estação de arrefecimento. O arrefecimento do molde juntamente com a peça no estado fundido ocorrer ao ar ambiente, jacto de ar frio, “spray” ou duche de água, ou por sistemas mais complexos como camisas envoltas no molde.

O processo de arrefecimento também possui grande influência sobre as propriedades mecânicas da peça moldada. Se o arrefecimento for lento, para materiais semicristalinos como o polietileno, haverá tempo suficiente para o crescimento de cristais, o que resultará em peças com alta rigidez, mas com baixa resistência ao impacto. Por outro lado, um arrefecimento muito rápido resultará em diferenças de temperaturas bruscas na parede da peça, o que provoca variações na estrutura do material, com diferentes níveis de contracção do polímero. Estas diferenças de estrutura e níveis de contracção resultarão no empenamento da peça.

O processo estará concluído após a peça ter adquirido resistência suficiente para manter as suas formas geométricas e dimensionais e resistir aos esforços de extracções do molde.



Figura A.3 - Arrefecimento do molde

Fase 4: Desmoldação

Após o molde e a peça serem arrefecidos, o movimento de rotação biaxial termina, e o molde é conduzido para uma estação de desmoldação. A abertura do molde e a extracção da peça são feitas manualmente. Depois da extracção da peça, o molde é novamente carregado com material e o ciclo recomeça.



Figura A.4 - Desmoldação da peça

Características do processo de Rotomoldagem

A Rotomoldagem possibilita a moldação de peças com espessuras que podem variar de 0,5 a 50mm para materiais como polietilenos, poliamidas e polipropilenos, e 0,4 a 12 mm de espessura de parede para peças moldadas em PVC. No entanto, quanto menor for a espessura de parede da peça a ser moldada, maior será o grau de dificuldade de obtenção de uniformidade das paredes. A lógica de distribuição do material durante o ciclo de moldação, o equilíbrio térmico dos moldes, a precisão das rotações biaxiais é fundamental, exigindo máquinas com suficientes recursos para garantir boa qualidade final da peça moldada.

Apesar da diversidade de dimensões, os produtos da Rotomoldagem podem ter paredes mais finas que as de produtos obtidos por outros processos. A técnica de Rotomoldagem tende a produzir um aumento da espessura da parede dos cantos das peças o que dá ao processo uma distinta vantagem em relação ao sopro e à moldagem a vácuo que tendem a produzir produtos com paredes dos cantos finas, sem reforço. A espessura adicionada aos cantos dos produtos e o consequente reforço adquirido são vantagens especiais, principalmente em peças grandes que sofrem maiores solicitações mecânicas e dinâmicas.

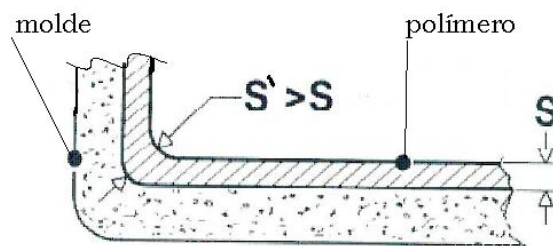


Figura A.5 - Aumento de espessura nos cantos

A Rotomoldagem é um processo de baixa pressão, por isso a resistência exigida dos moldes é mínima. Daqui resulta a sua capacidade de produzir peças grandes ou complexas, em pouco tempo, usando moldes de baixo custo. Devido ao baixo custo dos moldes, a Rotomoldagem é ideal para a produção de protótipos, pequenas ou grandes quantidades de produção e início de produção de peças que eventualmente irão ser feitas por outro processo mais caro quando a quantidade de pedidos justificar tais despesas.

A baixa pressão envolvida no processo de Rotomoldagem tem ainda a vantagem de produzir peças relativamente livres de “stress” ou seja sem concentração de tensões e consequentemente reduzir os problemas de ruptura por fadiga, quando comparadas com peças obtidas por processos de alta pressão. Esta vantagem do processo é especialmente importante quando consideramos peças de grande porte.

O acabamento final e a cor na Rotomoldagem podem ser escolhidos de acordo com as funções do produto. Há facilidade na substituição de materiais e cores.

É possível aplicar texturas à peça pelos processos de “shot peening” – granalhamento do molde e “photo etching” – remoção química de metal – para moldes de alumínio.



Figura A.6 - Textura metálica obtida por “photo etching”

A cor é aplicada às peças por dois processos:

- Mistura de agente colorante com o polímero
- Pintura da peça obtida

A pintura é uma forma de acabamento final havendo também a possibilidade de aplicar um efeito metálico às peças.



Figura A.7 - Pintura



Figura A.8 - Acabamento metálico

É possível incorporar insertos metálicos (ex.: roscas, parafusos, etc...) que podem ser inseridos ou moldados integralmente junto com o plástico na Rotomoldagem.

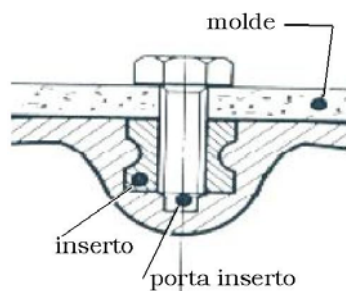


Figura A.9 - Esquema de aplicação de inserto metálico

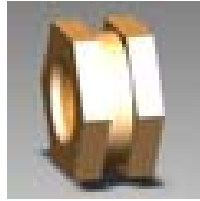


Figura A.10 - Exemplo de inserto metálico

Para produzir peças em série, o equipamento de Rotomoldagem representa o melhor custo-benefício em comparação com os outros processos que exigem maiores investimentos, tais como os processos de sopro e injeção.

Materiais utilizados

Numa primeira abordagem, qualquer material polimérico poderá ser moldado rotacionalmente.

Tanto os termoplásticos que amolecem, fundem e fluem quando aquecidos e endurecem quando arrefecidos, como os termoendurecíveis que formam ligas ou curam e endurecem ao serem aquecidos e não podem ser refundidos, podem ser moldados sem grandes dificuldades.

Requisitos básicos:

Fluidez:

O material precisa de fluir adequadamente para uniformizar a camada depositada sobre as superfícies aquecidas da cavidade do molde sem escorrer, enquanto o mesmo gira dentro do forno.

Estabilidade Térmica:

Durante todo o tempo de permanência no forno, na temperatura de processo, o material precisa de permanecer estável termicamente sem se degradar ou perder as suas propriedades. As matérias primas utilizadas na Rotomoldagem apresentam formulações específicas com índices de fluidez e estabilidade térmica ajustadas para cada aplicação e podem conter nas suas fórmulas, aditivos antioxidantes, clarificantes, espumantes, lubrificantes, pigmentos, estabilizantes, etc.

As resinas podem ser adicionadas na forma granulada, micro-granulada, micronizados ou líquidos. As partículas menores fundem-se mais rapidamente por possuírem menor massa e necessitarem de menor quantidade de calor para fundir.

Muito mais importante que o tamanho das partículas, são a forma e a regularidade das mesmas.

Teoricamente todos os termoplásticos e alguns termoendurecíveis podem ser moldados rotacionalmente, de qualquer modo os polímeros mais usados na Rotomoldagem são os termoplásticos: polietileno, polivinylchloride (PVC), poliamidas (nylon), policarbonato e poliéster insaturado, sendo o polietileno o termoplástico mais usado frequentemente.

Aplicações da Rotomoldagem

O fabrico de peças plásticas pelo processo de Rotomoldagem oferece uma vasta gama de soluções e produtos para os principais sectores de mercado: agrícola, alimentar, naval, construção civil e obras públicas, química, farmacêutica, lazer, automóvel, brinquedos, etc.

Indústria

A Rotomoldagem tem uma ampla aplicação na indústria, nomeadamente na Construção Civil, Petroquímica, Limpeza Industrial, Telecomunicações e Laboratórios de várias áreas.

A variedade de formas e design aliados ao baixo custo de produção tornam a Rotomoldagem um processo preferível.



Figura A.11 - Tubo



Figura A.12 - Paleta



Figura A.13 - Máquina de limpeza – carcaça rotomoldada



Figura A.14 - Reservatório



Figura A.15 - Tanques de armazenamento de líquidos

Agricultura

A aplicação da Rotomoldagem ao sector agrícola engloba diversas possibilidades, desde tanque e reservatórios, capota de tractores e bebedouros de animais.



Figura A.16 - Bebedouro de animais



Figura A.17 - Armazenamento de cereais

Ambiente

A Rotomoldagem surge como o processo ideal para a obtenção de caixotes e contentores de lixo com as mais variadas formas e dimensões, sendo bastante explorada a possibilidade de incluir logótipos e sinalética informativa.



Figura A.18 - Caixote lixo



Figura A.19 - Contentor lixo

Veículos

A aplicação de produtos rotomoldados em diversos tipos de veículos apresentam como vantagens a quase ilimitada possibilidade de design, cor ou textura e o baixo custo de produção.



Figura A.20 - Pequeno veículo – carcaça rotomoldada



Figura A.21 - Arelado para transporte de cereais



Figura A.22 - Pequeno tanque de combustível

Actividades de lazer e desporto

A Rotomoldagem é bastante utilizada em actividades aquáticas pela facilidade de obtenção de geometrias curvilíneas ideais para embarcações. Mais uma vez o baixo custo dos moldes surge como factor preferencial numa aérea em que tipicamente ocorrem baixas produções.



Figura A.23 - Trenó para a neve



Figura A.24 - Canoa

Outras aplicações

O processo de Rotomoldagem permite o fabrico de uma variedade de produtos para diversas áreas. Muitas aplicações novas surgem a todo o momento, de acordo com a criatividade e as necessidades do mercado consumidor.

- Mobiliário



Figura A.25 - Mesa e cadeiras de jardim

- Alimentação

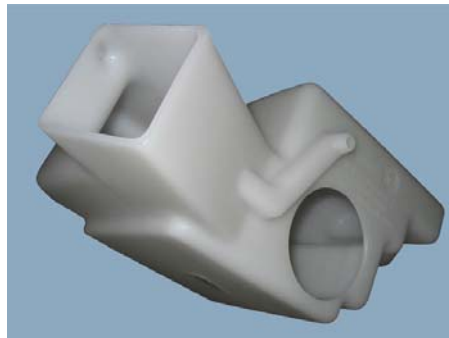


Figura A.26 - Componente de máquina de “vending”

- Equipamento médico



Figura A.27 - Vários componentes de equipamento médico

- Brinquedos



Figura A.28 - Baloioço

Novas aplicações

As novas aplicações que substituem os materiais como a fibra de vidro, aço, madeira e alumínio estão a ser continuamente desenvolvidos e representam a maior área de novos produtos e inovação. Os produtos que melhor se aplicam à Rotomoldagem têm pelo menos uma das seguintes características:

- Grande capacidade volumétrica;
- Baixo volume de produção, possivelmente requerendo cores standard ou espessura de parede;
- Formas que são muito complexas para outro processo de moldação;
- Alta resistência a químicos, degradação ultra-violeta ou oxidação;
- Peças únicas para construção;

Vantagens da Rotomoldagem

Comparativamente a outros processos de transformação de polímeros, a Rotomoldagem tem como principais vantagens:

Vantagens do processo:

1. O custo dos moldes é relativamente baixo, especialmente para pequenas produções, contudo é possível efectuar moldes de múltiplas cavidades para uma maior cadência de produção.
2. É possível fabricar peças de grande dimensão, com elevada rigidez, a custos significativamente mais baixos em comparação com outros processos de fabricação.
3. São facilmente produzidas peças com contra-saídas e de contornos de difícil desmoldagem pelos processos tradicionais.
4. Moldação de peças com paredes uniformes e grande variedade de texturas superficiais, acabamentos e cores.
5. Facilidade de execução de peças de dupla parede e de dupla camada com interior oco ou preenchido por exemplo com espumas de isolamento térmico.
6. Menor desperdício de matéria-prima. O material colocado no interior do molde é "totalmente" aproveitado.
7. O processo oferece ainda vários factores positivos como, por exemplo, a densidade das paredes, que apresentam força e resistência, cantos de livres de tensões e isenção de soldas e emendas.
8. Possibilidade de utilização de aditivos, o que pode aumentar a resistência do produto em relação ao clima, exposição à luz solar, ao calor, exposição química e mecânica.
9. As peças são moldadas a partir de rotação e calor em lugar de pressão, sendo assim, os moldes não precisam ser criados para resistir a alta pressão. Isto implica em custos extremamente menores para o desenvolvimento e fabricação dos moldes.
10. Possibilidade de incorporar insertos metálicos ou termoplásticos antes ou depois da moldação.

Vantagens de custo:

Quando custo é um factor importante, a Rotomoldagem possui diversas vantagens sobre outros importantes processos. Em comparação à Injecção e ao Sopro, a Rotomoldagem pode facilmente produzir peças pequenas ou de grande geometria a um custo final menor. As ferramentas necessárias ao processo de Rotomoldagem também possuem um custo

infinitamente inferior. Alterações de projecto também podem ser incluídas com maior facilidade e a um custo igualmente inferior.

A Rotomoldagem é um processo de produção altamente versátil, uma opção que reúne diversas possibilidades de projecto com o benefício adicional de baixos custos de fabricação.

Moldes de Rotomoldagem

No processo de Rotomoldagem o material é colocado no molde, aquecido e rodado até amolecer e aderir à superfície do molde. Em seguida, o molde é arrefecido até o material adquirir resistência suficiente podendo em seguida ser retirada a peça final.

A geometria interna do molde é definida copiando-se a forma externa da peça a obter. É necessário que a transferência de calor ocorra de forma equilibrada e constante em toda a superfície da cavidade. Neste sentido o molde não deve apresentar espessuras de parede com grandes variações.

Os moldes construídos com materiais de melhor condutividade térmica tornam mais eficiente a transferência de calor para o interior da cavidade do molde, reduzindo assim o tempo de moldação e proporcionando menores ciclos de aquecimento e arrefecimento.



Figura A.29 - Molde e estrutura de suporte

Tipo de produção dos moldes

Os moldes para Rotomoldagem são normalmente fabricados por fundição ou maquinagem CNC de alumínio havendo ainda a possibilidade de electrodeposição e chapa de aço para produção volumosa e moldes compósitos para obtenção de protótipos.

A) Moldes obtidos por fundição:

Fabricados normalmente em alumínio com espessuras de parede entre 4,0 e 8,0 mm e modelados a partir de amostras ou modelos de peças de diversos tamanhos e formas. São ideais para moldar peças com formas livres difíceis de ser maquinadas tais como manequins, modelos anatómicos, recipientes complexos, etc. Facilitam também a reprodução de texturas, inscrições e outros detalhes gerados nas superfícies do molde.



Figura A.30 - Molde em alumínio fundido

B) Moldes maquinados:

São moldes produzidos com maior precisão, têm maior vida útil e moldam peças com melhor qualidade. Naturalmente apresentam custos mais elevados e são usados quando o volume de produção e a qualidade exigida para o produto justificarem o investimento.



Figura A.31 - Molde em alumínio maquinado

C) Moldes em chapa metálica:

A maioria dos moldes é repuxada ou conformada em chapas de aço carbono ou inoxidável com espessuras de 1,5 até 3,0 mm ou em alumínio ou cobre com espessuras de 3,0 até 6,0 mm. Têm maior aplicação na produção de peças grandes para as quais serão construídos poucos moldes devido a maior dificuldade de reproduzir muitos exactamente iguais. Apresentam a vantagem de serem mais leves e possibilitarem o seu fabrico com espessuras de parede muito mais finas e uniformes, exigindo menor quantidade de calor para serem aquecidos e reduzindo os ciclos de moldação.

Não são indicados para produzir peças com formas livres ou orgânicas, no entanto as suas superfícies internas podem ser alvo de tratamentos superficiais diversos para melhorar o acabamento final da peça moldada, tais como niquelação, teflonização, desmoldantes permanentes, etc.

D) Moldes obtidos por electrodeposição:

Pouco utilizados, porém eficazes na reprodução de detalhes delicados e texturas complexas como madeira e couro, difíceis de serem reproduzidas por outras técnicas. São fabricados a partir da electrodeposição de níquel sobre modelos ou amostras de produtos tais como cabeças de bonecas e pequenas figuras previamente preparadas com tinta condutora de electricidade à base de cobre ou grafite.

O tamanho dos moldes fica limitado ao volume do tanque de electrodeposição e são mais usados para moldar materiais flexíveis como o PVC que permitem aplicar a técnica de extração forçada, ou seja, a peça inteira é puxada para fora do molde por uma abertura com dimensão menor que a peça.

E) Moldes compósitos

Processo de fabrico ideal para a obtenção de protótipos, garante precisão de formas e cavidades e é indicado para peças pequenas e/ou médias. O molde é feito por sobreposição de camadas de resina epoxy reforçadas com fibra de vidro e capazes de aguentar elevadas temperaturas.

Máquinas de Rotomoldagem

Há várias configurações de máquinas de Rotomoldagem actualmente oferecidas no mercado e estes equipamentos são configurados de acordo com as características do produto a ser fabricado.

Os principais factores que determinam qual equipamento é o recomendado são: a forma e as dimensões do artigo moldado, o tipo de material empregue e a produção desejada. Estes factores determinam o tipo de aquecimento, arrefecimento e dimensionamento das instalações para obtermos melhores resultados, com custos industriais aceitáveis.

As principais partes do sistema são:

- a) Unidades de aquecimento;
- b) Cabina de arrefecimento;
- c) Estação de carregamento e descarregamento;
- d) Fuso e sistema de movimentação dos fusos;

Todas as formas construtivas das máquinas actuais derivam de apenas dois conceitos básicos:

- Conceito Bi - Axial
- Conceito Balanço e Giro - “Rock and Roll”

A rotação bi-axial é constituída por uma série de engrenagens e rodas com correntes que permitem a rotação e translação do molde simultaneamente.

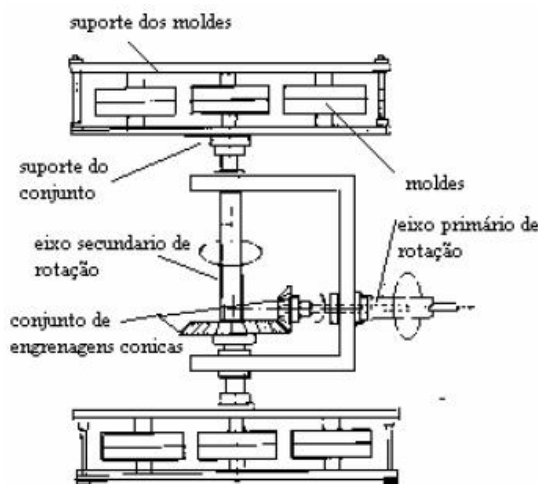


Figura A.32 - Sistema simplificado de rotação bi-axial do braço standard



Figura A.33 - Máquina com configuração “Carrossel”



Figura A.34 - Máquina com configuração “Carrossel”



Figura A.35 - Máquinas com chama aberta - Conceito “Rock and Roll”

ANEXO B

Dimensionamento do Novo Contentor $5m^3$ no ABAQUS

No estudo do *Novo Contentor $5m^3$* composto por um corpo único e fundo em PEAD rotomoldados pretendeu-se chegar a uma solução que fosse um compromisso entre funcionalidade e custo. Não interessa ter um contentor que suporte elevadas cargas, a que na realidade nunca será sujeito e ter custos de fabrico insuportáveis. Nesse sentido tentou-se por um lado que o novo contentor tenha uma geometria mais simples que o actual de modo a ter um molde mais barato e por outro conseguir aplicar a mesma quantidade de matéria-prima (mesma espessura) para a sua moldação. Isto sem prejudicar a sua resistência e performance.

Pensando em termos mecânicos, o tipo de solicitação a que o contentor está sujeito em serviço é diferente consoante o tipo de resíduos a que está destinado, resíduos domésticos, embalagens, vidro e papel. A forma como estes tipos de resíduos acumulados no contentor se comportam também diverge devido às diferentes formas, dimensões, densidades.

Havendo a dúvida de qual será a pior situação de carga (pressão interior) para o contentor e que tipo de perfil esta adopta, decidiu-se, na tentativa de simplificar esta questão aplicar um perfil de pressão hidrostático às paredes do contentor. Nesta situação considera-se que a pressão nas paredes p_i é função da altura H do contentor e que para $z=-H/2$ a pressão p_i toma o valor da pressão p , em que $p = m_{total}/Área_{fundo}$.

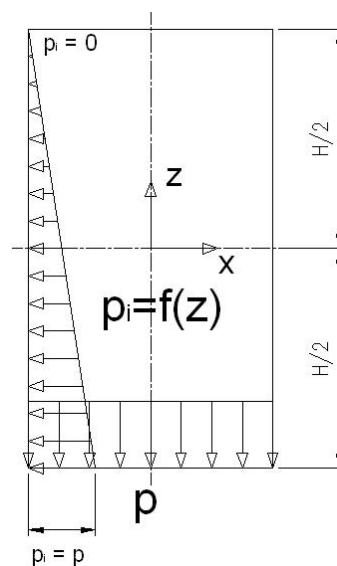


Figura B. 1- Perfil hidrostático para a pressão no interior do contentor

Considerações sobre o dimensionamento no ABAQUS

Para o dimensionamento do corpo do contentor e do fundo utilizou-se o software de elementos finitos ABAQUS CAE V6.5.1. Todos os modelos testados foram modelados no próprio ABAQUS utilizando-se elementos de casca. Os elementos de casca oferecem a vantagem de poder ser alterada a espessura ao longo dos ensaios sem necessidade de modificar o modelo.

No cálculo de elementos finitos do ABAQUS foi tida em conta a “Nlgeom - geometric nonlinearity” referente às variações não lineares causadas pelas grandes deformações e deslocamentos do material.

Como o material em estudo é um polímero com baixo Módulo de Young (860MPa) que não segue o mesmo comportamento linear que um aço por exemplo, é imprescindível considerar os efeitos não lineares das elevadas deformações decorrentes do carregamento aplicado. Os resultados obtidos serão assim mais verdadeiros.

Este estudo está dividido em 6 fases:

1ª FASE: ENSAIOS À GEOMETRIA BÁSICA DO CORPO DO CONTENTOR (SEM FUNDO)

Nesta fase inicial testou-se a geometria mais simples possível para o corpo do contentor para verificar como se comporta quando solicitado à tracção longitudinal devido à carga no rebordo inferior e transversal com pressão interior nas paredes. Modelou-se o corpo com uma forma tubular quadrada totalmente aberta com dimensões próximas das finais.

Como aproximação à situação real em que na recolha a grua levanta a estrutura de elevação que por sua vez, estando apoiada em dois veios ao corpo do contentor, levanta o contentor, as condições de fronteira nesta fase consistem no encastramento do corpo do contentor em duas pequenas secções circulares na parte superior.

Dados

Propriedades PEAD

As propriedades do PEAD utilizadas neste estudo são referentes à temperatura de 20°C.

PEAD Rotomoldado

densidade (g/cm ³)	0,945
módulo Young (GPa)	0,86 = 860 N/mm ²

Dimensões do corpo do contentor

Altura	$H = 2700$	mm
Largura	$a = 1500$	mm
Secção	$S = 2,25 \times 10^6$	mm ²
Perímetro secção	$p = 6000$	mm
Volume do contentor	$V = 6,075 \times 10^9$	mm ³
Espessura PEAD	$e = 8$	mm

Densidade dos resíduos

Densidade resíduos de cozinha	$d = 800$	kg/m ³
Massa de resíduos	$m = 4860$	kg

Cargas

Carga a aplicar no perímetro inferior do corpo

$$q = m \times 9,8 / p \qquad q = 7,938 \quad \text{N/mm}$$

Pressão de referência para o perfil hidrostático

$$p_{ref} = m \times 9,8 / S \qquad p_{ref} = 0,021 \quad \text{N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

Ensaaios realizados

Os ensaios realizados nesta fase consistiram em submeter o corpo do contentor, ainda sem qualquer tipo de reforço, à pressão interior de perfil hidrostático e a carga de tracção no rebordo inferior, estando encastrado em duas secções circulares no rebordo superior.

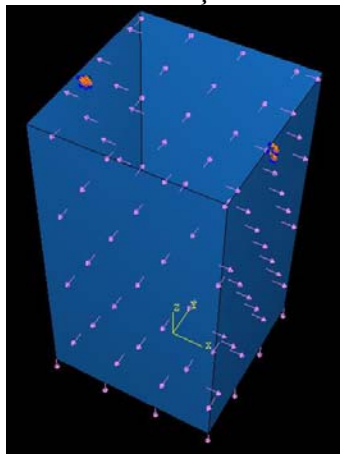


Figura B. 2 - Condições de fronteira

Nestes ensaios obteve-se deslocamentos exageradamente elevados como era previsível e que não serão considerados no presente documento.

De qualquer das formas este estudo foi necessário para confirmar a necessidade de aplicar reforços metálicos nos rebordos superior e inferior do corpo.

Facilmente se percebeu que é difícil abandonar as estruturas de reforço utilizadas no contentor actual nomeadamente o aro metálico de reforço superior. Esta estrutura estabiliza e reforça a parte superior do contentor que é bastante solicitada durante o seu uso. Com o passar do tempo se não existir esta estrutura a zona onde se acopla o veio da asa de elevação poderia deformar-se permanentemente e sofrer de fluência podendo até romper.

2ª FASE: ENSAIOS À GEOMETRIA DO CORPO (SEM FUNDO) COM AROS METÁLICOS DE REFORÇO E BANDAS DE SOBREEPESURA

A segunda fase do dimensionamento abordou a aplicação de reforços ao longo das paredes e de aros metálicos na parte superior e inferior do corpo do contentor. A aplicação mais comum de reforços em Rotomoldagem como se pesquisou faz-se à custa de reentrâncias (“Hollow Ribs”). A modelação deste tipo de geometria no ABAQUS é no entanto morosa e complexa não sendo possível fazer modificações fácil e rapidamente aos modelos para testar várias hipóteses de configuração. Assim sendo e para tornar mais célere o estudo nesta fase ainda de aproximação a uma situação final e definitiva, assumiu-se que em lugar de se aplicarem reentrâncias se aplicariam sobreespessuras de material como reforço. Como se utilizam elementos de casca para modelar o contentor é bastante simples criar e eliminar

secções ou bandas de reforço nas paredes do modelo e atribuir-lhes diferentes espessuras e propriedades materiais.

Esta fase do dimensionamento do contentor teve como objectivo determinar o n.º ideal de bandas de reforço verticais que garante menores deslocamentos às paredes do contentor e estudar as possibilidades para o reforço da zona média do contentor aplicando bandas de reforço horizontais.

Numa fase final do estudo, estas bandas de reforço optimizadas para uma espessura ne , em que e é a espessura global do corpo do contentor serão traduzidas na profundidade das reentrâncias a aplicar.

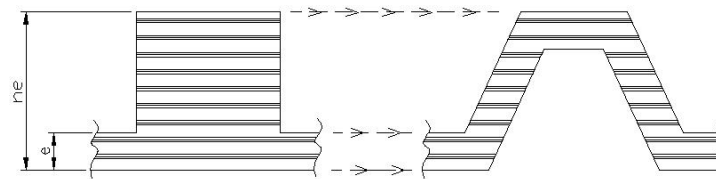


Figura B. 3 - Simplificação adoptada para o teste dos reforços

Relativamente aos aros metálicos de reforço:

Introdução de um aro em aço na parte superior (do lado interior do corpo) com as dimensões do aro aplicado no actual contentor da TNL.

Dimensões secção em L:

200x200mm
 $e=5\text{mm}$

Propriedades aço:

$E=200\text{GPa}$
 $\nu=0.3$

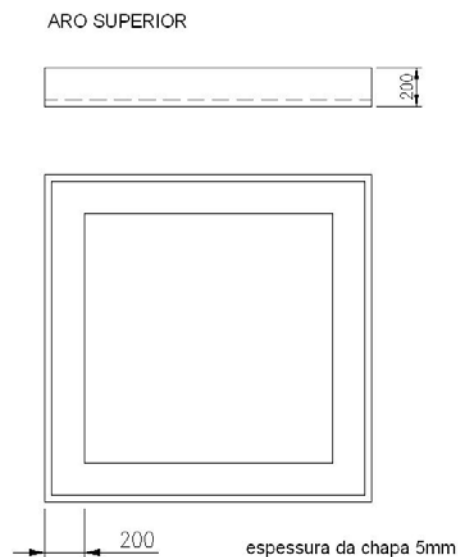


Figura B. 4 - Aro em aço superior

Introdução de um aro em aço na parte inferior (do lado interior do corpo) com geometria mais simplificada: chapa 200x5mm.

A figura seguinte esquematiza o tipo de configuração testado:

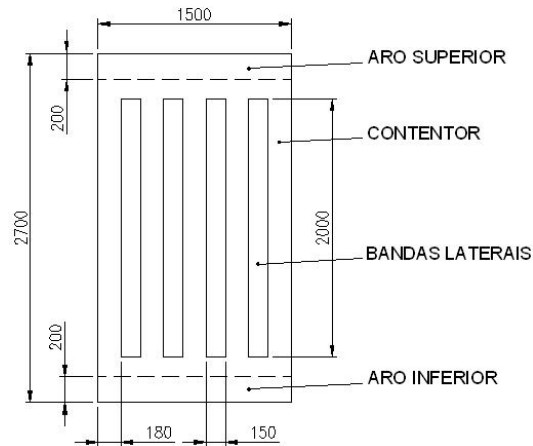


Figura B. 5 - Configuração das bandas de reforço

Ensaio Realizados

Ensaio 1

Nesta primeira abordagem estudou-se o efeito do nº de bandas de reforço nas paredes laterais. Mantendo a altura e a área total das bandas, fazer variar o número de bandas.

Tabela B. 1 - Testes efectuados no ensaio 1

Teste	Nº de bandas	Área de 1 banda (mm ²)	Largura da banda (mm)
1a)	2	600000	300
1b)	3	400000	200
1c)	4	300000	150
1d)	5	240000	120
1e)	6	200000	100

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico, chapa 200x5 no fundo do contentor
- Bandas laterais de espessura $3e = 24\text{mm}$
- Carga aplicada no perímetro da parte inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Ensaio 2

Numa segunda abordagem, uma vez optimizado o nº de bandas de reforço verticais, introduziram-se também bandas horizontais ao centro e experimentaram-se diferentes configurações.

Testes realizados:

2a)

Aplicação de uma banda horizontal central 1300x200mm distanciada 100mm dos vértices;
Espessura da banda horizontal igual à espessura das bandas verticais, $3e=24\text{mm}$;

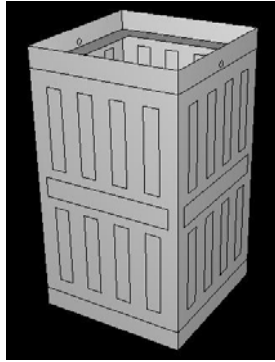


Figura B. 6 - Configuração teste 2a)

2b)

Aplicação de uma banda horizontal central 1500x200mm de vértice a vértice;
Espessura da banda horizontal igual à espessura das bandas verticais, $3e=24\text{mm}$;

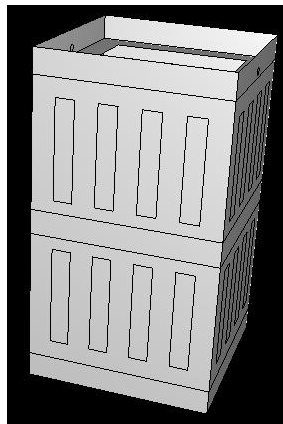


Figura B. 7 - Configuração teste 2b)

2c)

Aplicação de duas bandas horizontais 1500x100mm distanciadas entre si 50mm e com a área total igual à área da banda no teste 2b);
Espessura das bandas horizontais igual à espessura das bandas verticais, $3e=24\text{mm}$;

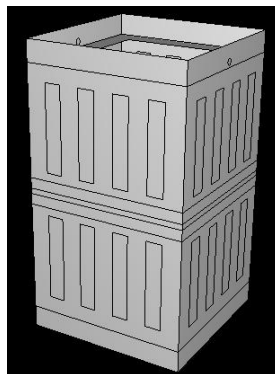


Figura B. 8 - Configuração teste 2c)

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico, chapa 200x5 no fundo do contentor
- Bandas de reforço de espessura $3e = 24\text{mm}$
- Carga aplicada no perímetro da parte inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Ensaio 3

De acordo com o perfil de pressão hidrostática considerado para o carregamento neste estudo faz sentido pensar em aumentar a resistência global do contentor ao deslocamento transversal (xx e yy), aproximando a banda de reforço horizontal para a zona de maior deslocamento. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios anteriores verificou-se que a zona de deslocamento máximo se situa entre o centro e o aro inferior do contentor. Desta forma procedeu-se a um deslocamento gradual da banda horizontal em relação ao centro em busca da melhor localização.

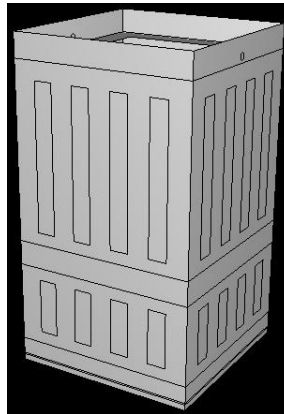


Figura B. 9 - Aproximação da banda horizontal para a zona de maior deslocamento

Neste ensaio reforçou-se o aro inferior de modo a diminuir os deslocamentos ainda elevados nessa zona.

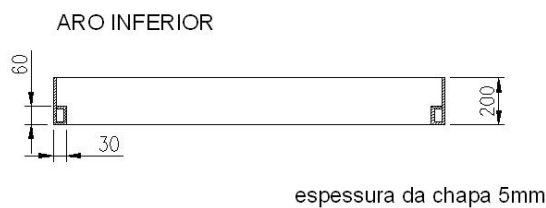


Figura B. 10 - Aro inferior em chapa quinada

Testes efectuados:

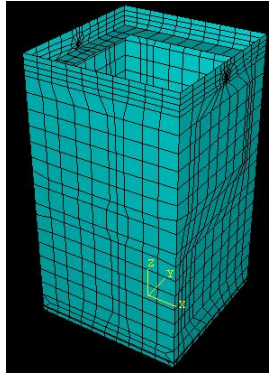
- 3a) deslocamento da banda 150mm
- 3b) deslocamento da banda 250mm
- 3c) deslocamento da banda 300mm
- 3d) deslocamento da banda 400mm

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico em chapa quinada no fundo do contentor
- Bandas de reforço de espessura $3e = 24\text{mm}$
- Carga aplicada no perímetro da parte inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Resultados Obtidos

Nos ensaios realizados nesta fase do dimensionamento considerou-se uma malha de elementos quadrados de lado 150mm.



Malha de elementos finitos

Ensaio 1

Tabela B. 2 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 1

Teste	Nº de bandas	Deslocamento Máx. (mm)			
		Magnitude	xx	yy	zz
1a)	2	1255.000	1255.000	1245.000	19.580
1b)	3	1197.000	1169.000	1197.000	20.570
1c)	4	1153.000	1136.000	1153.000	20.520
1d)	5	1209.000	1203.000	1209.000	19.810
1e)	6	1224.000	1216.000	1224.000	19.660

Como se depreende da tabela acima com a aplicação de 4 bandas verticais de reforço consegue-se melhores resultados.

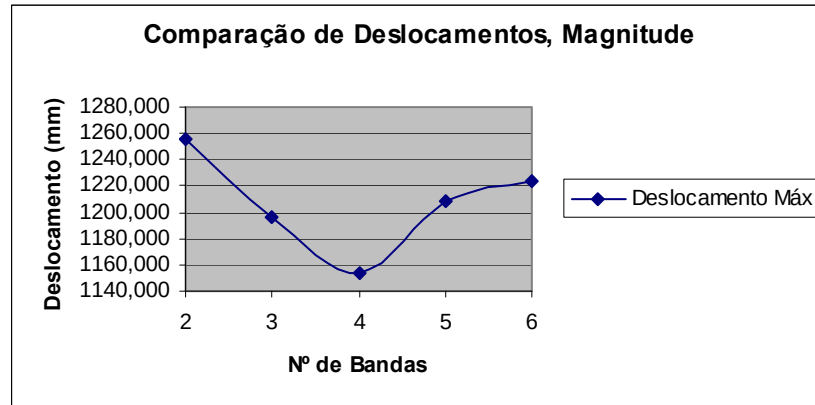


Figura B. 11 - Deslocamentos Magnitude em função do nº de bandas

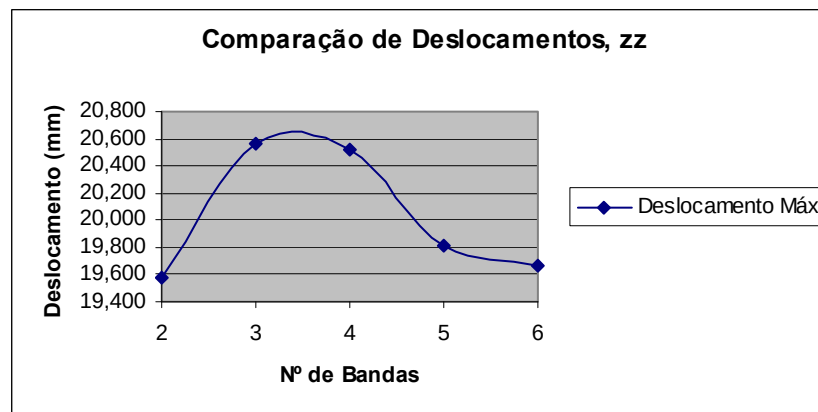


Figura B. 12 - Deslocamentos zz em função do nº de bandas

De uma maneira geral exceptuando o deslocamento segundo o eixo dos zz verifica-se uma diminuição do deslocamento á medida que se aumenta o número de bandas de 2 para 4 nas condições de ensaio adoptadas. Quando se aumenta o número de bandas de 4 para 7 os deslocamentos tendem a aumentar. Verifica-se precisamente o oposto quando se analisa o deslocamento segundo zz.

Ensaio 2

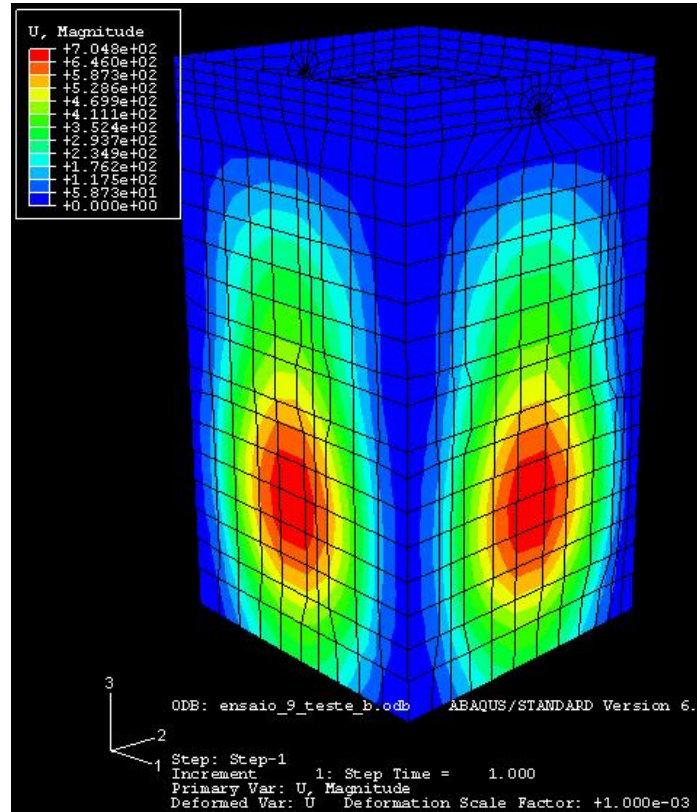


Figura B. 13 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 2b)

Tabela B. 3 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 2

Teste	Deslocamento máx. (mm)			
	Magnitude	xx	yy	zz
1c)	1153.000	1136.000	1153.000	20.520
2a)	981.600	972.300	981.600	14.550
2b)	704.800	704.800	694.200	10.470
2c)	744.500	744.500	705.500	10.620

Este ensaio evidencia a importância de aplicar um reforço horizontal na zona central do corpo do contentor. Comparando a situação do ensaio 1c), sem reforço horizontal, quando este é aplicado os deslocamentos diminuem bastante.

A melhor configuração para a banda de reforço horizontal é aplicar uma única banda a toda a volta do contentor (ensaio 2b)).

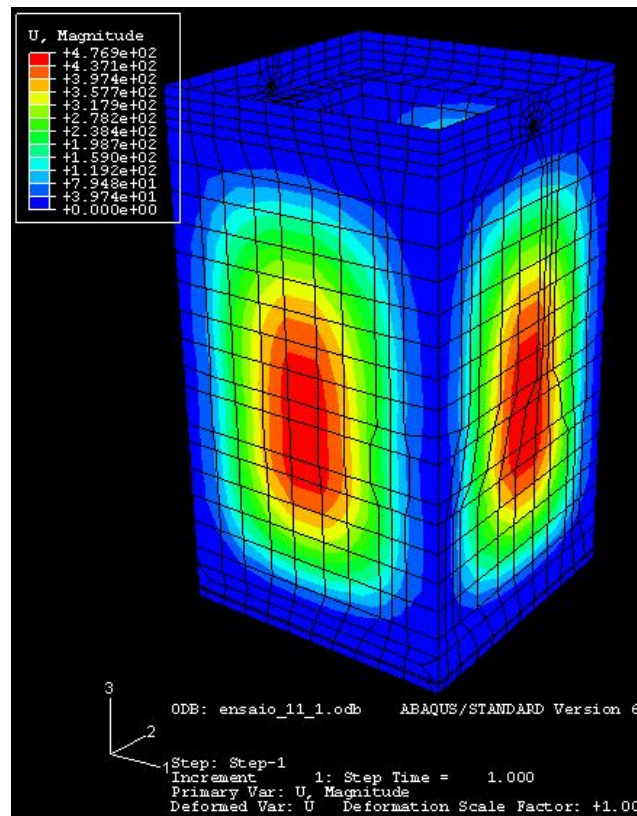
Ensaio 3

Figura B. 14 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 3a)

É possível verificar que as zonas superior e inferior do corpo do contentor apresentam deslocamentos praticamente desprezáveis.

Tabela B. 4 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 3

Teste	Distância banda horizontal ao centro (mm)	Deslocamento máx. (mm)			
		Magnitude	xx	yy	zz
2b)*	0	525,200	525,200	520,800	10,290
3a)	150	483,500	478,900	483,500	11,290
3b)	250	476,900	476,900	469,700	12,450
3c)	300	488,600	483,100	488,600	12,610
3d)	400	534,400	519,300	534,400	13,710

*Este teste foi realizado com as condições do ensaio 2b) mas com a introdução do aro inferior em chapa quinada.

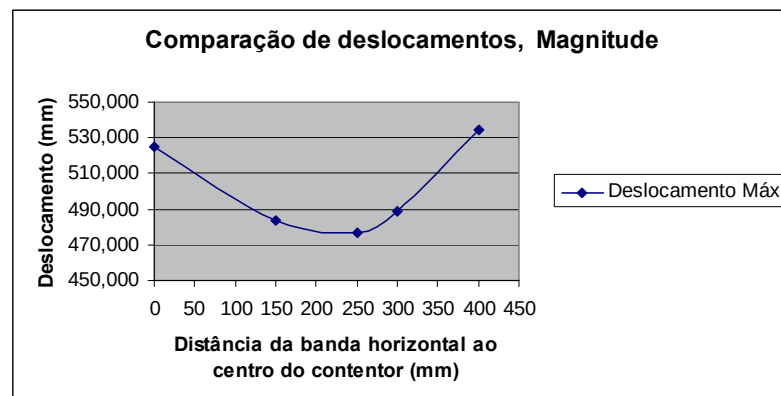


Figura B. 15 - Deslocamento Magnitude em função da distância ao centro da banda horizontal

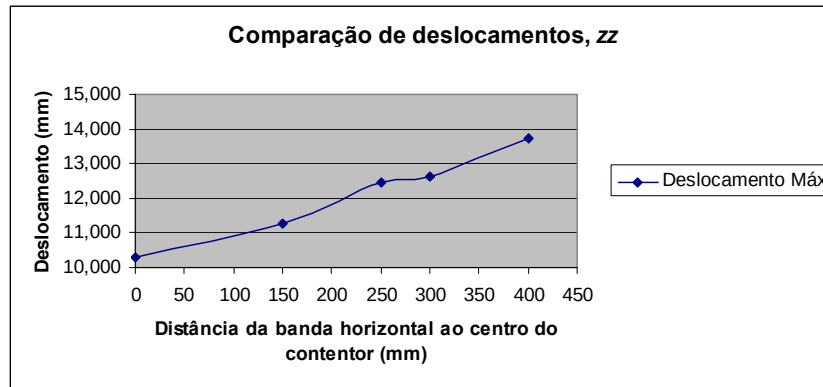


Figura B. 16 - Deslocamento zz em função da distância ao centro da banda horizontal

Este ensaio permitiu verificar o efeito da movimentação da banda de reforço horizontal sobre a resistência do corpo do contentor. Se se posicionar a banda a 250mm do centro consegue dar-se melhor resposta ao perfil de pressão hidrostático diminuindo o deslocamento máximo para 477mm.

O deslocamento segundo zz aumenta sempre com o afastamento da banda do centro do contentor.

Conclusões

Esta fase do estudo do contentor foi muito importante na medida em que permitiu chegar à configuração final para as bandas de reforço. Chegou-se ao número ideal de reforços verticais que será de 4 e à forma e localização do reforço horizontal que se situará a 250mm do centro do corpo, garantindo a melhor resistência do contentor face às condições de carregamento.

O procedimento para o dimensionamento do contentor consiste agora em estudar a melhor distribuição das bandas e aumentar gradualmente a sobreespessura permitindo ao contentor suportar as cargas aplicadas deformando-se o mínimo possível.

Fica em aberto a possibilidade de aplicar outro aro metálico a reforçar a zona média do corpo do contentor que ainda apresenta deslocamentos consideráveis.

3ª FASE: OPTIMIZAÇÃO DAS ESPESSURAS NO CORPO E BANDAS DE REFORÇO DO CONTENTOR

Esta fase consistiu no estudo das espessuras necessárias aplicar aos reforços para diminuir os deslocamentos.

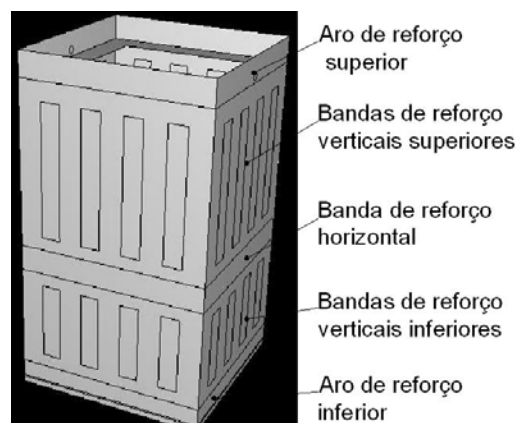


Figura B. 17 - Configuração das bandas de reforço

Ensaio Realizados

Ensaio 4

Neste ensaio procurou-se encontrar os valores para a espessura global do contentor e para as bandas de reforço que assegurem deslocamentos mais baixos possíveis (aceitáveis).

Testes realizados:

Em primeiro lugar aplicou-se a espessura global de 8mm ao corpo, enquanto aos reforços (verticais e horizontal) se fez variar a espessura:

- 4a) espessura reforços 4e=32mm
- 4b) espessura reforços 5e=40mm
- 4c) espessura reforços 6e=48mm
- 4d) espessura reforços 7e=56mm

Em segundo lugar aplicou-se a espessura global de 10mm ao corpo, enquanto aos reforços (verticais e horizontal) se fez variar a espessura:

- 4e) espessura reforços 3e=30mm
- 4f) espessura reforços 4e=40mm
- 4g) espessura reforços 5e=50mm
- 4h) espessura reforços 6e=60mm

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico em chapa quinada no fundo do contentor
- Carga aplicada no perímetro da parte inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Ensaio 5

Este ensaio permitiu otimizar a espessura final dos reforços aplicando apenas a espessura necessária a cada zona do contentor consoante os deslocamentos a que estão sujeitas.

Testes realizados:

- 5a) Verificação do efeito da união dos reforços verticais ao reforço horizontal
Espessura reforços 5e=40mm

Estudo de diferentes espessuras nos reforços:

- 5b) Espessura reforço vertical 3e=24mm
Espessura reforço horizontal 5e=40mm
- 5c) Espessura reforço vertical superior 4e=32mm
Espessura reforço vertical inferior 2e=16mm
Espessura reforço horizontal 5e=40mm
- 5d) Espessura reforço vertical superior 4e=32mm
Espessura reforço vertical inferior 2e=16mm
Espessura reforço horizontal 6e=48mm

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico em chapa quinada no fundo do contentor
- Carga aplicada no perímetro da parte inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Resultados Obtidos

Ensaio 4

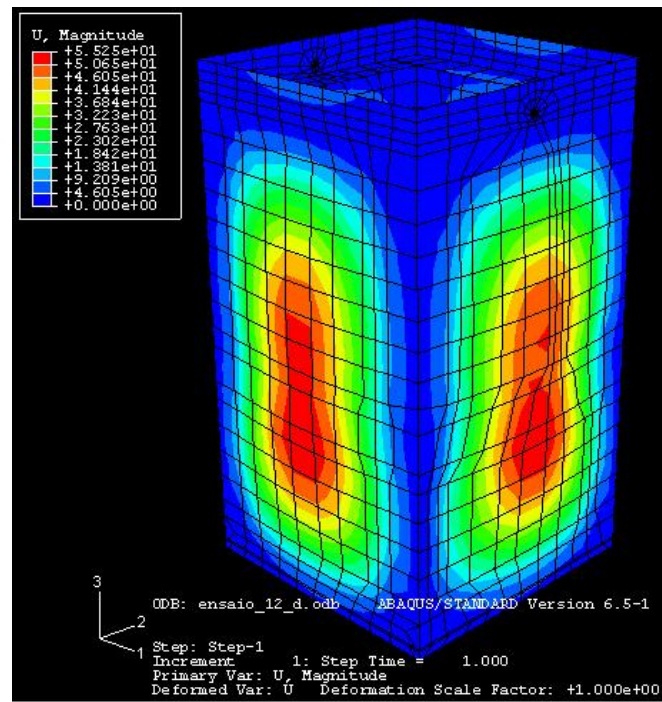


Figura B. 18 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 4d)

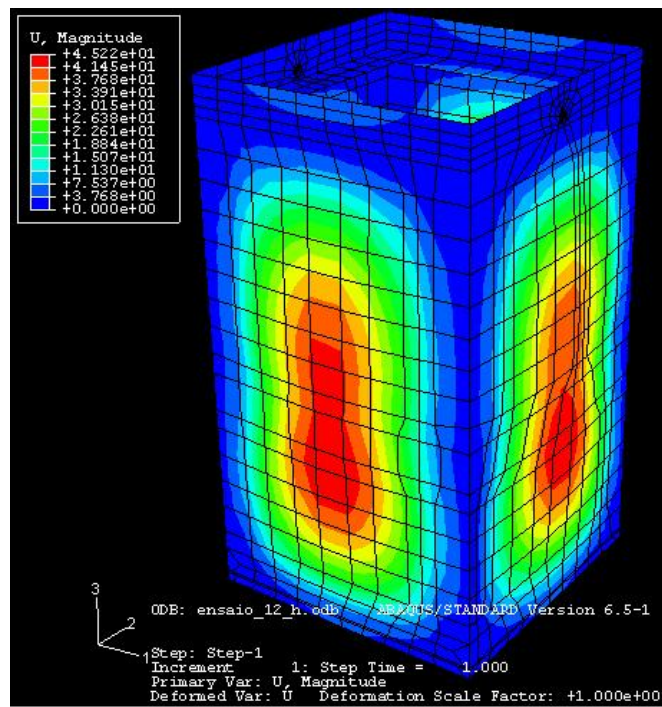


Figura B. 19 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 4h)

Tabela B. 5 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 4

Teste	Espessura Global (mm)	Espessura Reforços (mm)	Deslocamento máx. (mm)			
			Magnitude	xx	yy	zz
3a)	8	3e = 24	476.900	476.900	469.700	12.450
4a)	8	4e = 32	236.800	236.800	232.900	10.960
4 b)	8	5e = 40	133.900	133.900	130.800	10.090
4 c)	8	6e = 48	82.520	82.510	81.250	9.526
4 d)	8	7e = 56	55.250	55.240	54.850	9.114
4 e)	10	3e = 30	248.800	248.800	246.400	11.960
4 f)	10	4e = 40	125.300	125.200	123.800	10.460
4 g)	10	5e = 50	71.400	71.390	70.810	9.552
4 h)	10	6e = 60	45.220	45.110	45.210	8.939

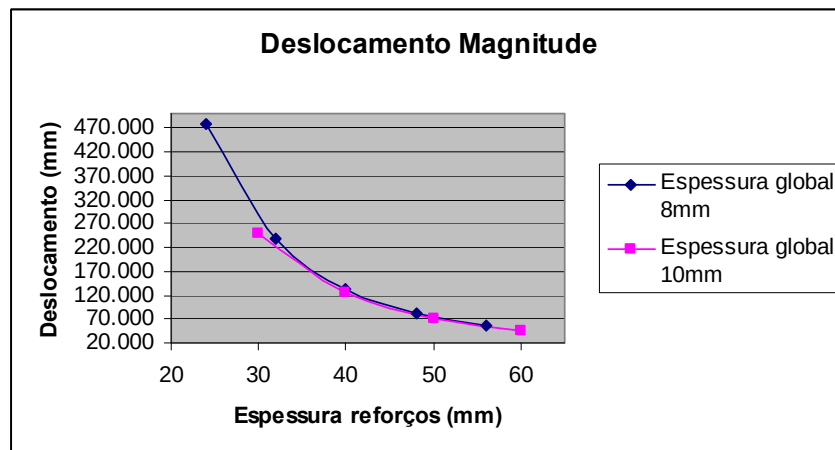


Figura B. 20 - Efeito do aumento da espessura dos reforços – Deslocamento Magnitude

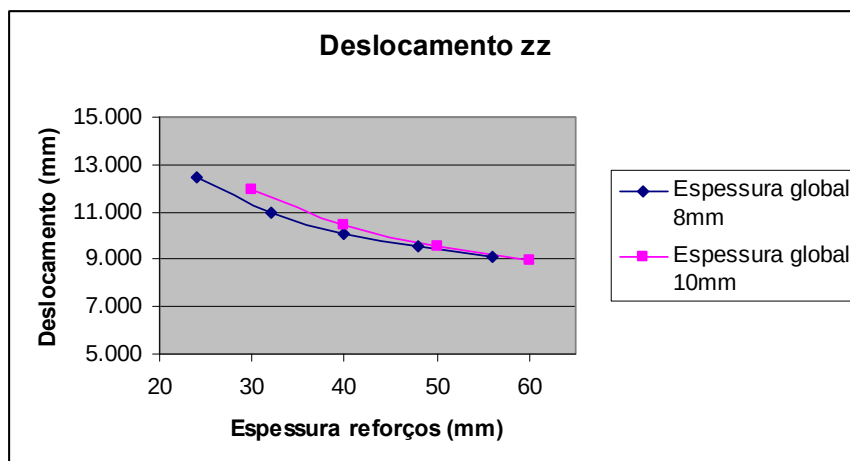


Figura B. 21 - Efeito do aumento da espessura dos reforços – Deslocamento zz

Como se pode verificar nos gráficos acima, pequenos aumentos na espessura dos reforços permitem o aumento da resistência do corpo do contentor que se traduz em reduções consideráveis nos deslocamentos.

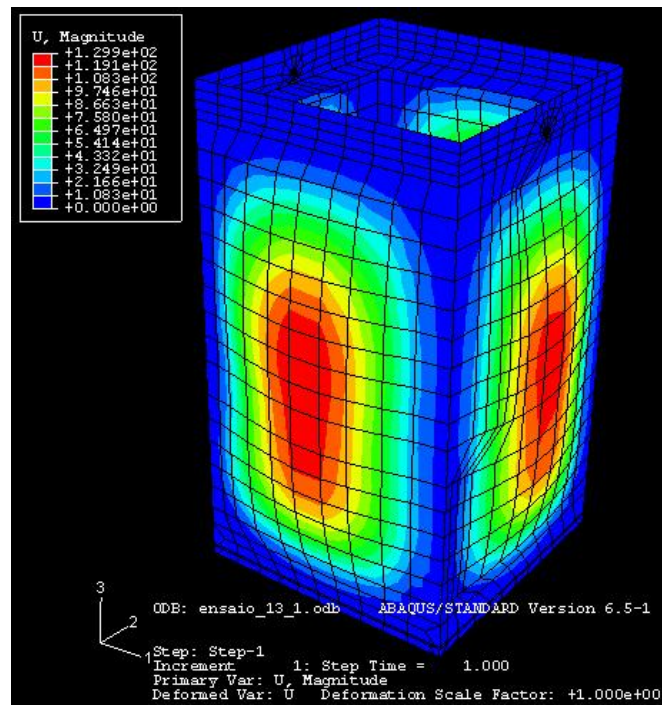
Ensaio 5

Figura B. 22 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 5a)

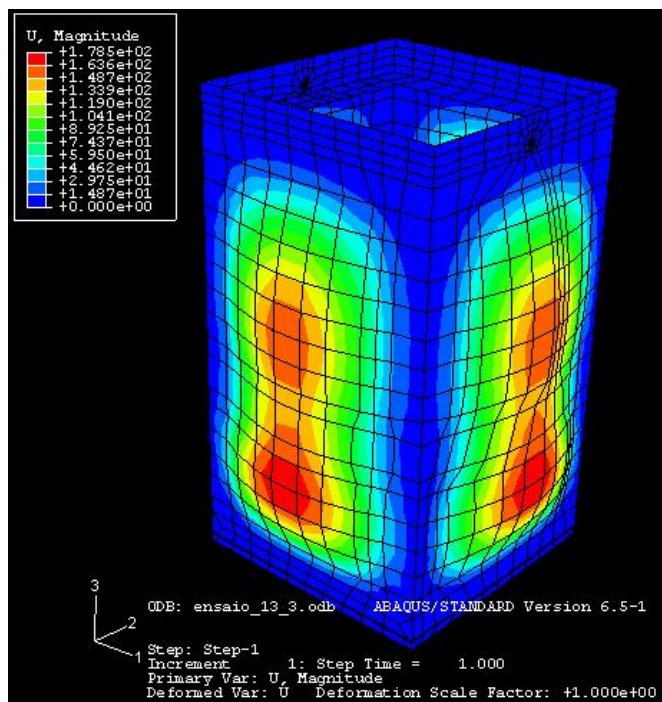


Figura B. 23 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 5c)

Tabela B. 6 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 5

Teste	Espessura Global (mm)	Espessura reforços (mm)			Deslocamento Máx. (mm)			
		Verticais Superiores	Verticais Inferiores	Horizontais	Magnitude	xx	yy	zz
4b)	8	40	40	40	133.900	133.900	130.800	10.090
5a)	8	40	40	40	129.900	127.400	129.900	9.992
5b)	8	24	40	40	225.100	219.800	225.100	9.354
5c)	8	32	24	40	178.500	178.500	178.500	9.501
5d)	8	32	24	48	137.400	137.000	137.400	8.597

A união dos reforços não traz grandes vantagens à resistência global do contentor. No entanto dever-se-á testar novamente esta hipótese quando se aplicarem as reentrâncias como reforços. Verificou-se que as espessuras adoptadas no ensaio 5c) conduzem já a resultados satisfatórios.

Conclusões

Nesta 3ª fase conseguiu-se otimizar a aplicação dos reforços do corpo do contentor, chegando à espessura ideal e necessária para cada zona. Determinou-se que as espessuras a aplicar aos reforços para os próximos ensaios deveriam ser:

- Espessura bandas de reforço verticais superiores: 32mm
- Espessura banda de reforço horizontal: 40mm
- Espessura bandas de reforço verticais inferiores: 24mm

4ª FASE: MODELAÇÃO E ENSAIO DO CORPO DO CONTENTOR COM AS REENTRÂNCIAS COMO REFORÇOS PARA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma vez desenvolvidos os reforços finais para o contentor sob a forma de sobreespessuras converteram-se para reentrâncias com as mesmas dimensões e onde a profundidade assume o valor da espessura de cada banda de reforço.

Ensaio Realizados

Ensaio 6

O ensaio 6 surge neste momento do procedimento um pouco deslocado da sequência que vinha a ser seguida, no entanto foi necessária a sua introdução para esclarecer algumas dúvidas sobre a orientação das reentrâncias que confere maior resistência ao contentor. Para evitar qualquer confusão que possa surgir, apresentar-se-ão os resultados deste ensaio logo de seguida à descrição dos testes efectuados.

Estudo da orientação das reentrâncias que confere maior resistência a uma placa.

Carregamento de uma placa quadrada de PEAD 8mm simplesmente apoiada:

Dimensões placa	largura =	1000	mm
	comprimento =	1000	mm
	espessura =	8	mm
Reforços	comprimento =	800	mm
	altura =	50	mm
	largura =	100	mm
Carga	pressão =	0.01	MPa

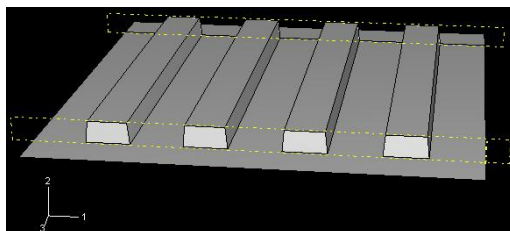


Figura B. 24 - Placa

Testes efectuados:

- 6a) carregamento sobre o exterior dos reforços
- 6b) carregamento sobre o interior dos reforços (face oca)

Foram também realizados testes a duas placas com diferente número de reentrâncias e em diferentes condições de fronteira.

- 6d) carregamento placa 4 reforços abertos

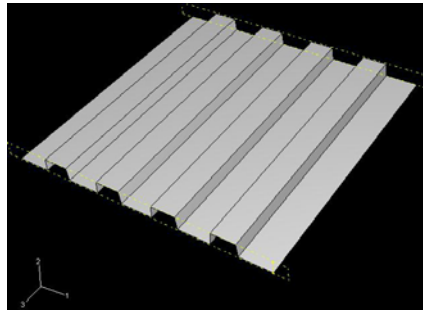


Figura B. 25 - Placa – Ensaio 6d)

- 6e) carregamento placa 11 reforços fechados

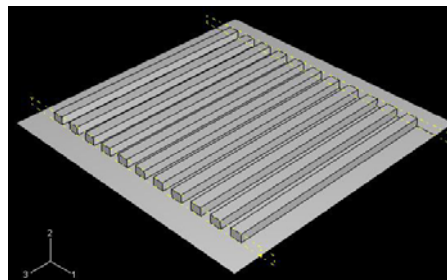


Figura B. 26 - Placa – Ensaio 6e)

- 6f) carregamento placa 11 reforços abertos

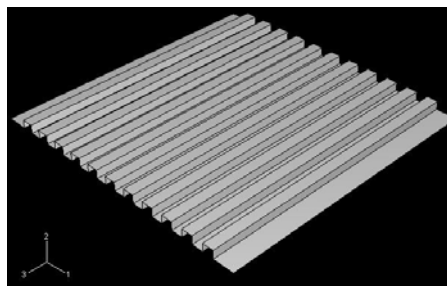


Figura B. 27 - Placa – Ensaio 6f)

Resultados Obtidos

Tabela B. 7 - Deslocamentos obtidos – Ensaios 6a) e b)

Teste	Deslocamento máx. (mm)			
	Magnitude	xx	yy	zz
6a)	80.470	15.110	80.430	7.658
6b)	80.470	15.110	80.430	7.658

Como se pode observar os deslocamentos obtidos para situação de carregamento sobre a face exterior da placa (6a)) e sobre a face oca (6b)) foram absolutamente idênticos. No entanto neste projecto optou-se por colocar as reentrâncias voltadas para o interior (ou seja com a

parte oca voltada para o exterior) do contentor uma vez que esta disposição é menos favorável à acumulação de lixo e pequenos resíduos.

Tabela B. 8 - Deslocamentos obtidos – Ensaios 6a), d), e) e f)

Teste	Magnitude	Deslocamento máx. (mm)		
		xx	yy	zz
6a)	80.470	15.110	80.430	7.658
6d)	31.510	2.976	31.510	3.743
6e)	124.200	11.290	124.200	6.638
6f)	84.120	5.917	84.120	4.342

Estes últimos ensaios permitem tirar algumas conclusões para solucionar o problema do fundo do contentor. De facto adoptando uma configuração diferente em relação à adoptada para os reforços laterais poderemos obter bons resultados. Neste caso verifica-se que se prolongarmos as reentrâncias até ao rebordo da placa e o apoio desta for ao longo desse mesmo perímetro obtemos deslocamentos em zz bastante menores do que no caso em que existe uma aba que rodeia totalmente os reforços.

Ensaio 7

Uma vez atingidos resultados satisfatórios e exploradas diversas possibilidades para a aplicação de reforços no corpo do contentor modelou-se este utilizando elementos de casca e aplicando as reentrâncias com as dimensões e profundidades optimizadas nos estudos prévios. Procedeu-se também neste ensaio a um redimensionamento do contentor diminuindo a secção de 1500x1500 para 1350x1350. Assim garante-se folgas suficientes para facilitar a recolha do contentor dando resposta a um dos requisitos do projecto no qual as dimensões do actual contentor de 5m³ da TNL (1450x1450) prejudicam a recolha, facto que deveria ser corrigido. Lembra-se aqui que as dimensões do equipamento *Citytainer* para acomodar os contentores são 1500x1500x2800 (largura x profundidade x altura).

A altura do corpo do contentor em estudo também foi alterada passando de 2700 para 2600mm, desta forma tem-se 200mm disponíveis para o fundo do contentor assegurando o cumprimento das dimensões.

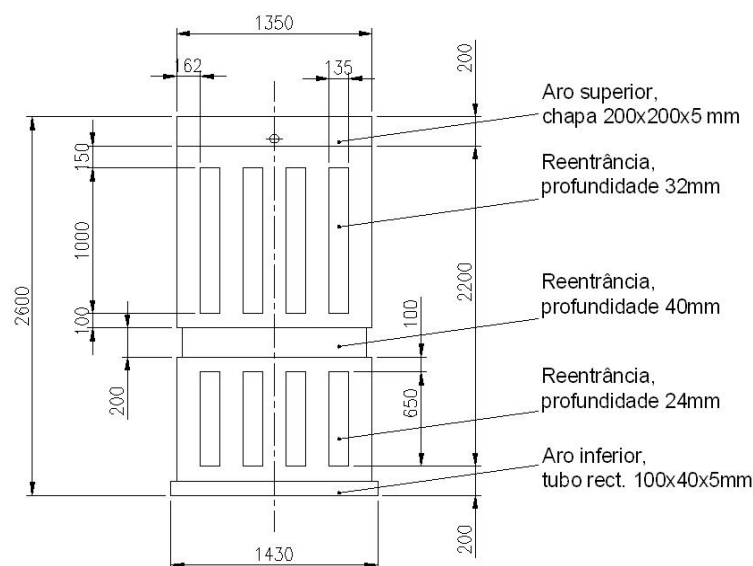


Figura B. 28 - Configuração final do corpo do contentor

Nesta configuração final substituiu-se o aro de reforço inferior em chapa quinada por um aro em tubo rectangular 100x40x4. Esta medida teve como fundamento o facto de a chapa

quinada, ser de difícil fabrico e apresentar elevadas dimensões (200mm de altura). Dessa forma procurou-se substituir o aro em chapa quinada por um aro em tubo rectangular mais compacto.

Foram realizados alguns ensaios que permitiram determinar que o tubo rectangular a aplicar no aro inferior para substituir a chapa quinada sem prejudicar muito a resistência do corpo do contentor e sem ser uma solução muito dispendiosa seria o tubo rectangular 100x40x4. Os resultados dos testes que levaram à opção deste tubo foram dispensados do presente documento por uma questão de espaço e objectividade em relação ao problema principal, o dimensionamento do corpo do contentor

Este aro de reforço foi aplicado no exterior do corpo do contentor, uma vez que a colocação do aro no interior favoreceria a acumulação de pequenos resíduos.

Uma vez que se redimensionou o contentor é necessário determinar os novos valores de carga para os ensaios.

Dimensões do corpo do contentor :	Secção	1350x1350	mm
	Altura	2600	mm
	Volume	4.739	m ³

Aro inferior, tubo 100x40x4:

Dimensões aro :	Secção interior	1350x1350	mm
	Secção exterior	1430x1430	mm
Área de aplicação da carga:		222400	mm ²

Cargas:

Densidade máxima de resíduos:	800.000	kg/m ³
Massa máxima de resíduos:	3790.800	kg
pressão no fundo 1350x1350:	0.020	MPa
pressão no aro inferior:	0.167	MPa

Condições de Fronteira:

- Encastramento nos dois apoios circulares
- Colocação de um aro metálico no topo do contentor
- Colocação de um aro metálico em tubo rectangular no fundo do contentor
- Pressão aplicada no aro inferior do contentor
- Pressão hidrostática aplicada nas paredes interiores

Testes efectuados:

Nestes testes experimentou-se novamente o efeito da união das reentrâncias (com profundidade idêntica), a aplicação ou não da reentrância horizontal a toda a volta do contentor e ainda as espessuras globais do corpo do contentor de 8 e 10mm, mantendo assim em aberto todas estas possibilidades.

- 7a) reentrância horizontal vértice a vértice, profundidade 40mm
 reentrância vertical superior, profundidade 32mm
 reentrância vertical inferior, profundidade 24mm
 espessura contentor 8 e 10mm

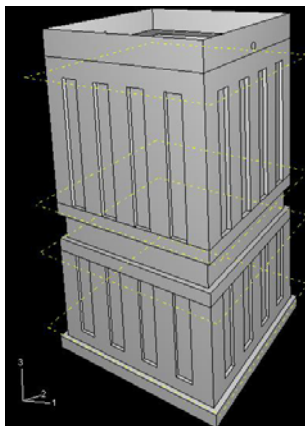


Figura B. 29 - Corpo do contentor – Ensaio 7a)

- 7b) reentrância horizontal a 100mm dos vértices, profundidade 40mm
 reentrância vertical superior, profundidade 32mm
 reentrância vertical inferior, profundidade 24mm
 espessura contentor 8 e 10mm

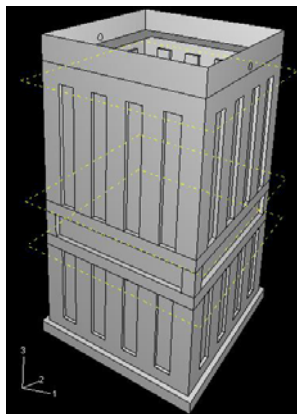


Figura B. 30 - Corpo do contentor – Ensaio 7b)

- 7c) união das reentrâncias, profundidade única de 32mm
 espessura contentor 8 e 10mm

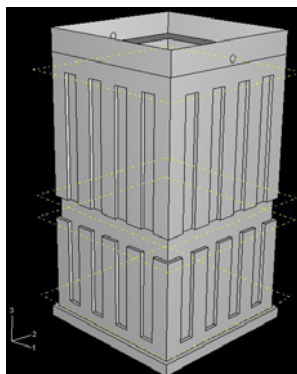


Figura B. 31 - Corpo do contentor – Ensaio 7c)

Resultados Obtidos

Ensaio 7

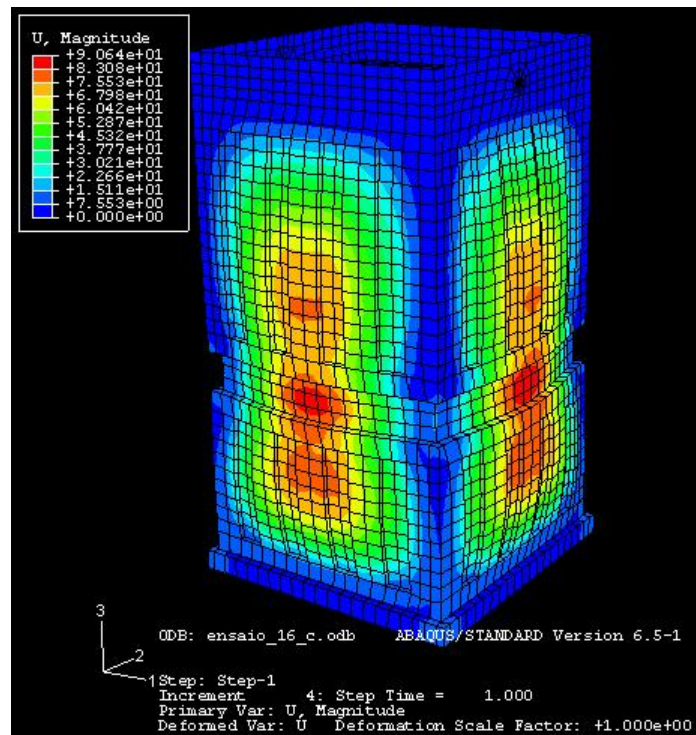


Figura B. 32 - Deslocamento Magnitude (mm) - Ensaio 7a), Espessura 10mm

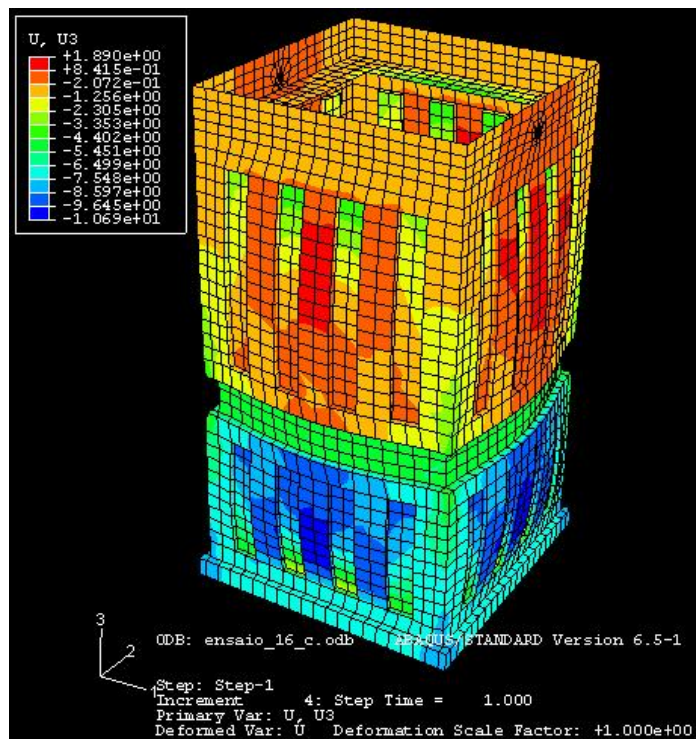


Figura B. 33 - Deslocamento zz (mm) - Ensaio 7a), Espessura 10mm

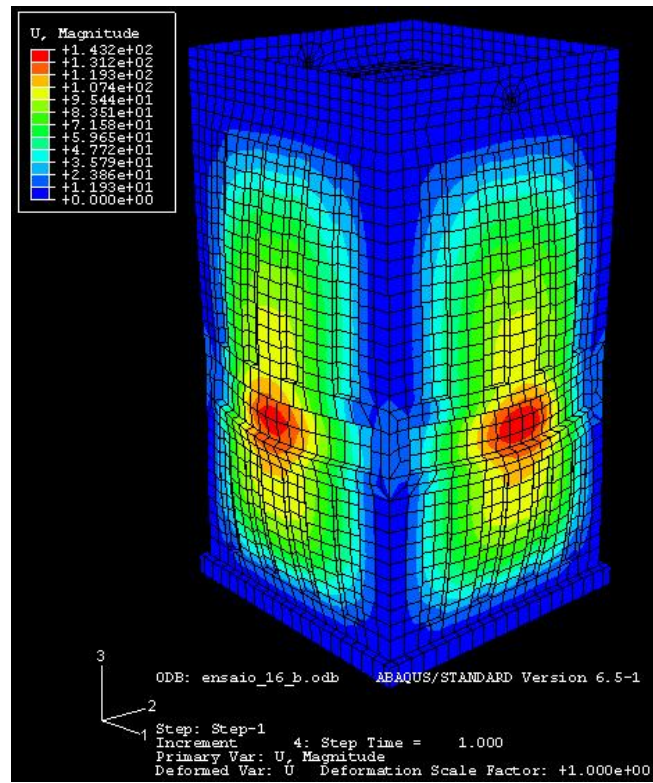


Figura B. 34 - Deslocamento Magnitude (mm) - Ensaio 7b), Espessura 10mm

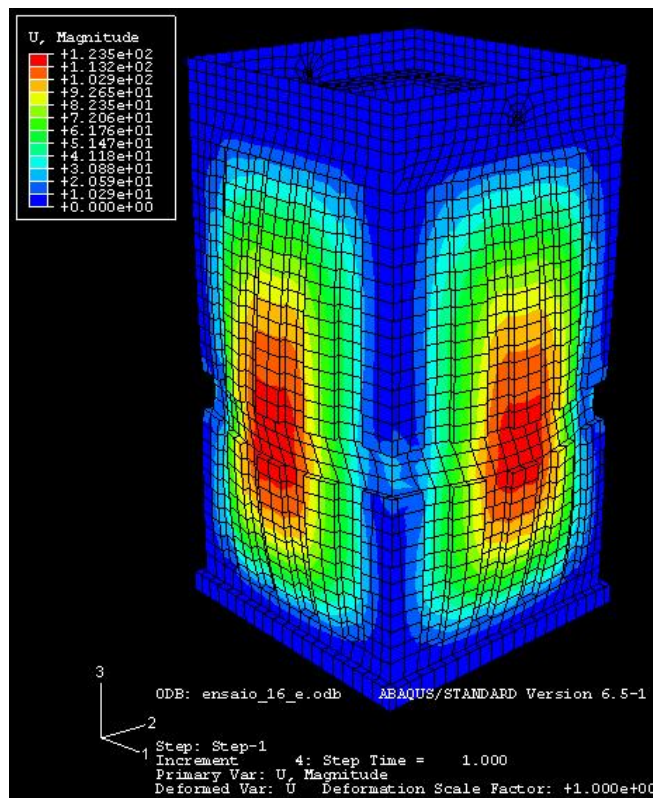


Figura B. 35 - Deslocamento Magnitude (mm) - Ensaio 7c), Espessura 10mm

Comparação de Resultados

Tabela B. 9 - Deslocamentos obtidos – Ensaio 7

Teste	Espessura (mm)	Deslocamento Máx. (mm)			
		Magnitude	xx	yy	zz
5c)	8	178.500	178.500	178.500	9.501
7a)	8	126.100	125.900	123.200	17.430
	10	90.640	90.510	87.340	10.690
7b)	8	186.700	172.000	186.600	21.800
	10	143.200	143.100	142.900	15.280
7c)	8	138.900	138.100	138.900	14.760
	10	123.500	122.800	123.500	10.530

Verificação da influência do aumento de espessura na rigidez do contentor:

Tabela B. 10 - Variação no deslocamento obtido em função da espessura – Ensaio 7

Teste	Espessura (mm)	Deslocamento Máx. (mm)			
		Magnitude	xx	yy	zz
7a)	8	126,100	125,900	123,200	17,430
	10	90,640	90,510	87,340	10,690
Variação no deslocamento (%)		28	28	29	39
7b)	8	186,700	172,000	186,600	21,800
	10	143,200	143,100	142,900	15,280
Variação no deslocamento (%)		23	17	23	30
7c)	8	138,900	138,100	138,900	14,760
	10	123,500	122,800	123,500	10,530
Variação no deslocamento (%)		11	11	11	29

Verificação do efeito da transição dos reforços: bandas de sobreespessura – reentrâncias, nos deslocamentos obtidos:

Tabela B. 11 - Diminuição nos deslocamentos – Ensaio 7

Teste	Espessura (mm)	Deslocamento Máx. (mm)				Nlgeom
		Magnitude	xx	yy	zz	
5c)	8	178.500	178.500	178.500	9.501	Off
7a)	8	126.100	125.900	123.200	17.430	On
Diferença		-52.400	-52.600	-55.300	7.929	
7a)	10	90.640	90.510	87.340	10.690	On
Diferença		-87.860	-87.990	-91.160	1.189	

Conclusões

O aumento de espessura de 8 para 10mm conduziu a uma diminuição entre 10 e 30% do deslocamento para os vários ensaios.

A configuração que oferece melhores resultados é a utilizada no ensaio 7a) em que se tem, reentrâncias verticais superiores com 32mm de profundidade e inferiores com 24mm, reentrância horizontal aplicada a todo o perímetro do contentor com 40mm de profundidade e uma espessura global de PEAD de 10 mm.

O ensaio 7a) acaba por corresponder ao ensaio que traduziu sob a forma de reentrâncias a melhor configuração para as bandas de reforço alcançada nos ensaios anteriores. Comparando os deslocamentos obtidos neste ensaio com o ensaio 5c) verifica-se uma diminuição do deslocamento máximo de 52,400mm com 8 mm de espessura e 87,860mm com 10 mm de espessura.

Relativamente aos aros de reforço superior e inferior, estes continuam a garantir a estabilidade das zonas que reforçam, com deslocamentos praticamente nulos. É extremamente importante que o corpo do contentor apresente esta rigidez nas zonas dos aros uma vez que é no aro superior que será acoplado o sistema de elevação do contentor e no aro inferior que será apoiado o fundo do contentor e sistema de abertura, sistemas estes que só funcionarão bem com a estabilidade das estruturas (aros de reforço) que os suportam.

Esta solução para os aros deverá então ser mantida como final. Na parte inferior do corpo do contentor aplicar um aro metálico em tubo rectangular 100x40 que suportará o fundo e o sistema de abertura e na parte superior aplicar o aro em chapa quinada utilizado no actual contentor da TNL.

Adoptando então esta solução para a configuração do corpo do contentor (Figura B.28):

Aro metálico superior – Aro em chapa quinada aplicado no actual contentor da TNL

Aro metálico inferior – Aro em tubo rectangular 100x40x4

Reentrância horizontal – em todo o perímetro do corpo, com 200mm de altura e 40mm de profundidade

Em cada parede do corpo:

4 Reentrâncias verticais superiores – com dimensões 135x1000mm e 32mm de profundidade

4 Reentrâncias verticais inferiores – com dimensões 135x650mm e 24mm de profundidade

Espessura global de material – 10mm

Para as piores condições de carga de resíduos ($4,7\text{m}^3$ de resíduos com 800kg/m^3 de densidade) obtêm-se deslocamentos máximos de aproximadamente 90mm segundo as direcções xx e yy e 10mm em zz que face às dimensões globais do corpo do contentor se consideram aceitáveis.

Como se depreende dos resultados obtidos, a transição dos reforços maciços para as reentrâncias transformando a sobresspessura em profundidade conduziu a bons resultados. A maior complexidade na modelação deste tipo de geometria impediu que os estudos prévios fossem realizados desta forma.

Estes resultados podiam ainda ser melhorados se se aumentasse a profundidade dos reforços e/ou a espessura de PEAD, no entanto e para esta fase consideram-se os resultados bastante aceitáveis.

5ª FASE: DIMENSIONAMENTO DO FUNDO DO CONTENTOR COM REENTRÂNCIAS COMO REFORÇOS

Considerações sobre a arquitectura do fundo

Um dos requisitos das especificações do projecto do contentor de 5m^3 era que o fundo fosse também em PEAD rotomoldado. Admitindo que se conseguiria dimensionar o fundo rotomoldado pensou-se numa forma de efectuar a ligação ao corpo do contentor por qualquer tipo de dobradiças permitindo a abertura e fecho.

Uma vez que o corpo do contentor aqui estudado possui um aro de reforço na parte inferior que servirá de fixação às dobradiças e sistema de fecho, exploraram-se duas hipóteses para o acoplamento do fundo ao corpo do contentor :

Hipótese 1: Aro metálico em tubo quadrado

É admissível que o fundo possua um aro metálico a actuar como reforço, e conferir estabilidade para a fixação por dobradiças ao corpo do contentor.

Hipótese 2: Insertos metálicos

Havendo a possibilidade de aplicar insertos metálicos no fundo rotomoldado, aliás como a pesquisa bibliográfica efectuada permitiu constatar, estes permitiriam a ligação através de um veio ao aro inferior do corpo do contentor.

Conclusão:

A hipótese dos insertos metálicos teria como grande vantagem o facto de ser uma solução muito mais barata que o aro metálico. No entanto haveria algumas desvantagens: a zona de aplicação dos insertos teria de ser muito reforçada complicando a geometria e dessa forma aumentando os custos com PEAD e encarecendo o molde; a zona circundante aos insertos estaria sujeita a elevadas tensões e tratando-se de PEAD poderia facilmente romper-se; a solução para o sistema de fecho tornar-se-ia mais complicada não dando garantias de funcionalidade.

A hipótese 1 globalmente pareceu ser mais viável. O aro serve de apoio ao fundo ao longo de todo o perímetro deste, aguentando as cargas e distribuindo as tensões. Permite que o fundo rotomoldado tenha uma geometria simples com reforços mais ligeiros, poupando-se em material polimérico e no molde. Além disso o aro facilita a implementação das dobradiças e do sistema de fecho utilizado no actual contentor da TNL.

A fixação do aro ao fundo terá de ser efectuada através de ligações roscadas.

Com o estudo levado a cabo nesta 5ª fase pretende-se dimensionar o fundo quadrado em PEAD rotomoldado para o contentor que deverá “conter” volume, ou seja deverá ter cerca de 200mm de altura, 1350mm de largura e capacidade para cerca de 0,3m³.

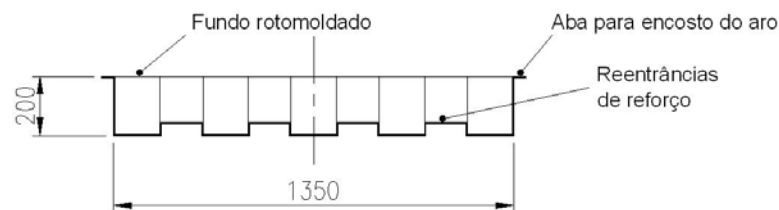


Figura B. 36 - Vista em corte do tipo de geometria adoptado

Definindo estas dimensões para o fundo garante-se o volume total do contentor: $4,7\text{m}^3(\text{corpo}) + 0,3\text{m}^3(\text{fundo}) = 5\text{m}^3$,

cumprindo a altura máxima permitida de:

$$2600\text{mm}(\text{corpo}) + 200\text{mm}(\text{fundo}) = 2800\text{mm}.$$

Relativamente à geometria aqui adoptada, onde se irá fazer variar o número de reentrâncias e dimensão, foi aplicada uma aba ou “gola” com 40mm no rebordo superior que além de aumentar a resistência das paredes à pressão interior servirá para encosto do aro de reforço se este for necessário.

Como os pontos de fixação do fundo ao corpo do contentor serão em 3 secções (2 dobradiças e um fecho) que estarão alinhadas segundo a mesma direcção deverá aplicar-se o maior n.º de reforços nessa mesma direcção.

O conhecimento adquirido no estudo do corpo do contentor e dos reforços permitiu uma abordagem mais óbvia e directa à questão do fundo.

Ensaio Realizados**Ensaio 8**

Neste ensaio foram testadas configurações diferentes para o fundo: espessura de material, n.º de reentrâncias, dimensões e profundidade das reentrâncias, união ou não das reentrâncias e aplicação ou não de aro metálico.

Efectuaram-se dois tipos de carregamento:

A) Situação em que o contentor está assente no chão

Carregamento do fundo apoiado numa superfície plana considerando o peso do volume total (5m^3) de resíduos na base e paredes do fundo sob a forma de pressão e o peso do corpo do contentor e dos aros que o reforçam na aba. Nas paredes do fundo é aplicado um perfil de pressão hidrostático.

Nesta situação de carregamento o valor das cargas aplicadas é multiplicado por um coeficiente que traduz a majoração da carga devido ao efeito dinâmico provocado pelo “esticão” do cabo/gancho da grua no momento em que eleva o contentor. Tipicamente este coeficiente toma o valor de 1,2 ou 1,3, no presente estudo considerou-se 1,3.

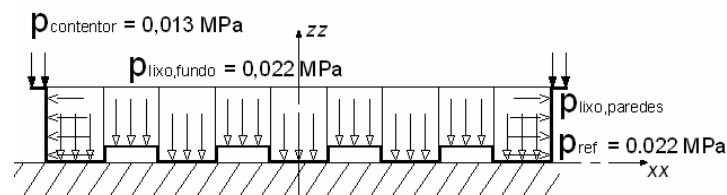


Figura B. 37 - Carregamento do fundo – Situação A)

B) Situação em que o contentor é levantado por grua

Carregamento do fundo apoiado no aro em 3 secções da aba (dobradiças e fecho) onde é efectuada a ligação ao corpo do contentor, considerando somente o peso do volume total de resíduos a exercer pressão na base e nas paredes. Nas paredes do fundo é aplicado um perfil de pressão hidrostático.

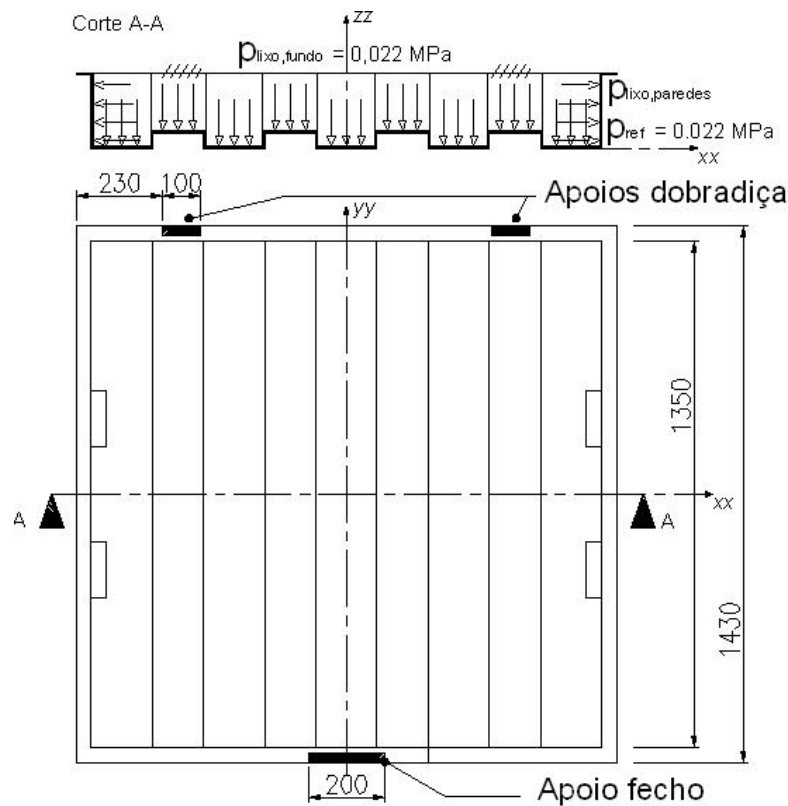


Figura B. 38 - Carregamento do fundo – Situação B)

Determinação dos valores de carga

Dimensões do fundo:

L_{base}	1350	mm
A_{base}	1,823E+6	mm ²
L_{aba}	1450	mm
A_{aba}	2,240E+5	mm ²
altura	200	mm

- Massa total do corpo do contentor: corpo + aro superior + estrutura (asa) de elevação + aro inferior

Corpo contentor PEAD

Espessura	10	mm	(obtida no ABAQUS)
Densidade	0,945	g/cm ³	
Área total	1,45E+07	mm ²	
Volume de material	1,45E+08	mm ³	
Massa de material	137,375	kg	

Aro superior em chapa quinada (utilizado no actual contentor da TNL)

Espessura chapa	3	mm
Densidade	7,86	g/cm ³
Área total	2,00E+06	mm ²
Volume de material	1,00E+07	mm ³
Massa de material	47,160	kg

Estrutura (asa) de elevação em tubo quadrado (utilizada no actual contentor da TNL)

Tubo	40x40x4	mm
Massa tubo	4,200	kg/m
Comprimento total	3468	mm
Massa	14,641	kg

Aro inferior em tubo quadrado 100x40x4

Tubo	100x40x4	mm
Massa tubo	6,10	kg/m
Comprimento total	5560	mm
Massa	34,250	kg

Massa_{total contentor}: 233,551 kg

- Massa total de resíduos

Densidade resíduos	800	kg/m ³
Volume resíduo	5	m ³
Massa_{resíduos}:	4000	kg

Cargas no fundo:

Situação A)

Aba: $p_{aba} = (Massa_{total\ contentor} \times 9.8 \times 1,3) / A_{aba} = 0.013\ MPa$

Base: $p_{base\ A} = (Massa_{resíduos} \times 9.8 \times 1,3) / A_{base} = 0.028\ MPa$

Situação B)

Base: $p_{base\ B) = (Massa_{resíduos} \times 9.8) / A_{base} = 0.022 \text{ MPa}$

Configurações de reentrâncias testadas na geometria do fundo:

Configuração 1)

4 reentrâncias direcção yy, na base e paredes, largura=135mm a 40mm da aba superior;
2 reentrâncias direcção xx, só nas paredes, largura=150mm a 40mm da aba superior;

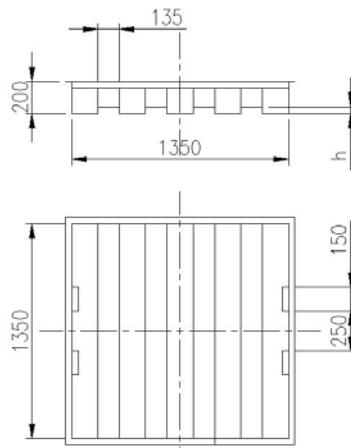


Figura B. 39 - Configuração 1), 4 reentrâncias direcção yy e 2 reentrâncias direcção xx

Configuração 2)

4 reentrâncias na direcção yy, na base e paredes, largura=135mm a 40mm da aba superior;
2 reentrâncias na direcção xx, só nas paredes, largura=150mm a 40mm da aba superior;
Reentrâncias ligadas entre si;

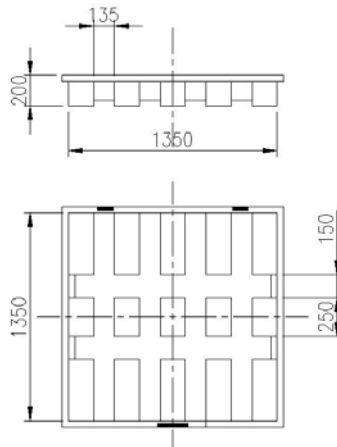


Figura B. 40 - Configuração 2), 4 reentrâncias direcção yy e 2 reentrâncias direcção xx ligadas entre si

Configuração 3)

5 reentrâncias direcção yy, na base e paredes, largura=105mm a 40mm da aba superior;
3 reentrâncias direcção xx, só nas paredes, largura=150mm a 40mm da aba superior;

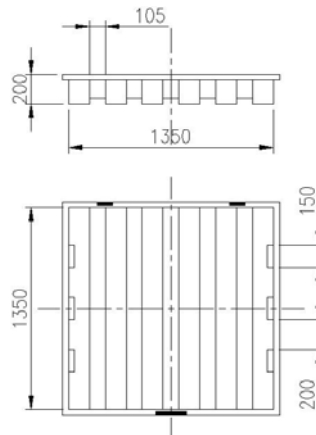


Figura B. 41 - Configuração 3), 5 reentrâncias direcção yy e 3 reentrâncias direcção xx

Configuração 4)

7 reentrâncias direcção yy, na base e paredes, largura=90mm a 40mm da aba superior;
3 reentrâncias direcção xx, só nas paredes, largura=150mm a 40mm da aba superior;

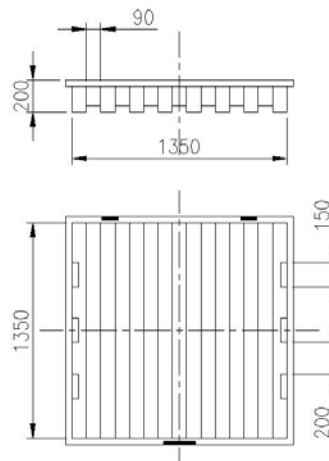


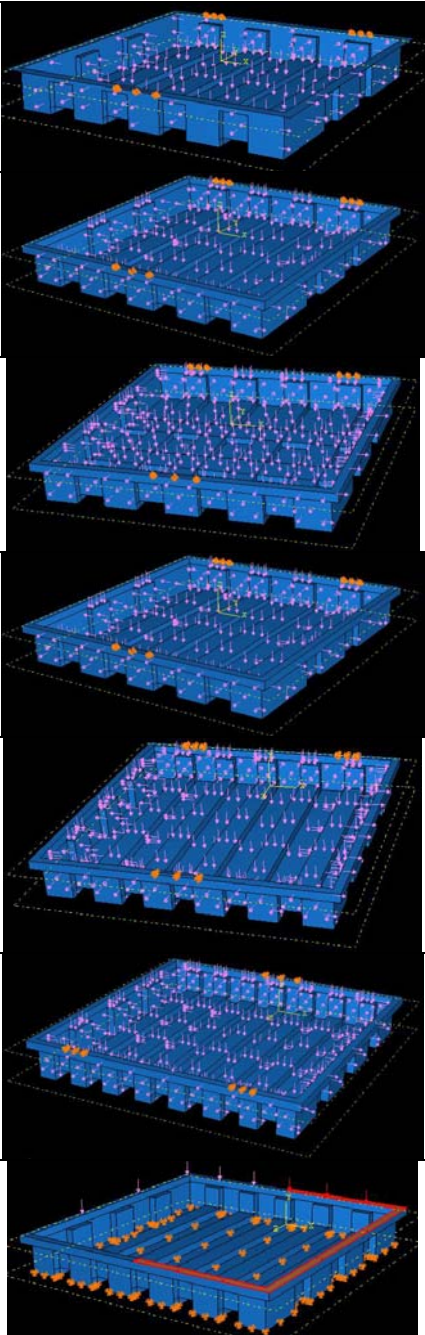
Figura B. 42 - Configuração 4), 7 reentrâncias direcção yy e 3 reentrâncias direcção xx

Testes realizados para as espessuras de 8 e 10mm:

Nota: O sistema de eixos referente ao modelo ensaiado no *ABAQUS* é diferente do aqui adoptado. Esta diferente orientação será considerada na apresentação dos resultados.

Tabela B. 12 - Condições de fronteira e geometrias aplicadas nos testes realizados

Teste	Condições de fronteira	Aro de reforço	Geometria reentrâncias	Profundidade h (mm)	Observações
8a)	Situação A)	Não	Configuração 1)	32	
8b)	Situação A)	Sim	Configuração 1)	32	

8c)	Situação B)	Não	Configuração 1)	32	
8d)	Situação B)	Sim	Configuração 1)	32	
8e)	Situação B)	Sim	Configuração 2)	32	
8f)	Situação B)	Sim	Configuração 1)	40	
8g)	Situação B)	Sim	Configuração 3)	40	
8h)	Situação B)	Sim	Configuração 4)	40	
8i)	Situação A)*	Sim	Configuração 1)	40	

* Para simular uma possível situação de desequilíbrio do corpo do contentor traduzida em carregamento sobre o fundo, aplicou-se 1/3 da pressão em metade da aba e 2/3 da pressão na outra metade.

Dimensões do aro de reforço do fundo:

Tubo quadrado	40x40x4	mm
Largura aro	1430	mm

Resultados Obtidos

Nos testes realizados aplicou-se uma malha de elementos quadrados $l=72\text{mm}$.

8a)

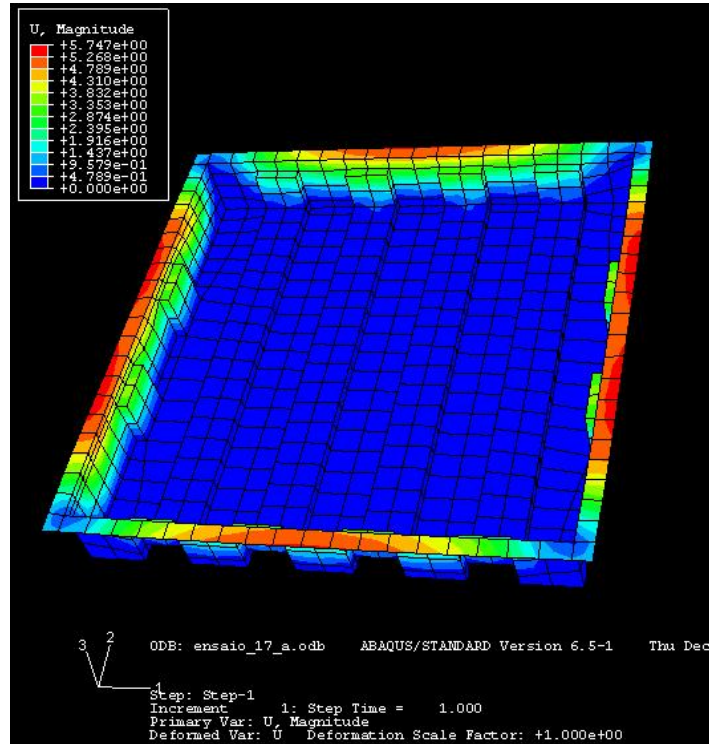


Figura B. 43 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8a), 10mm

8b)

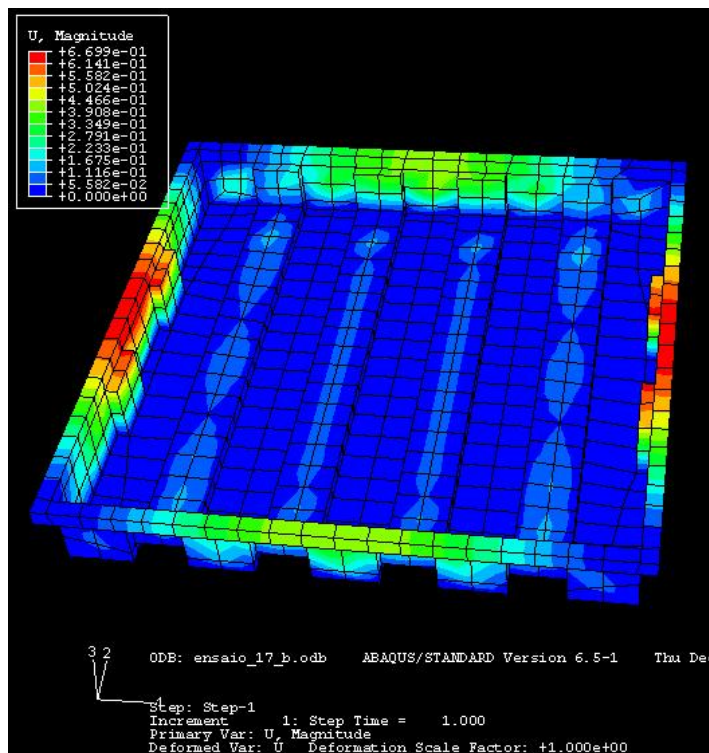


Figura B. 44 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8b), 10mm

8c)

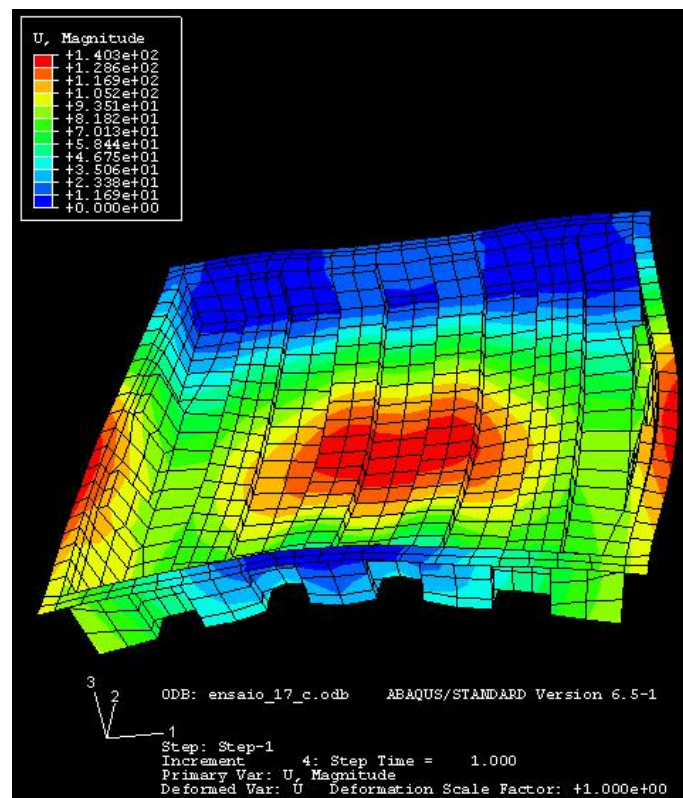


Figura B. 45 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8c), 10mm

8d)

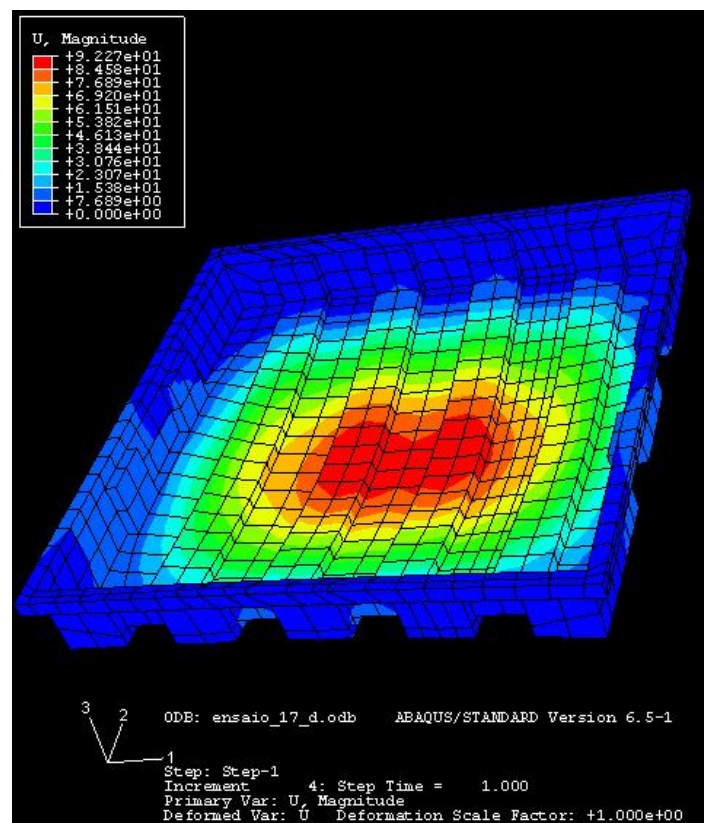


Figura B. 46 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8d), 10mm

8e)

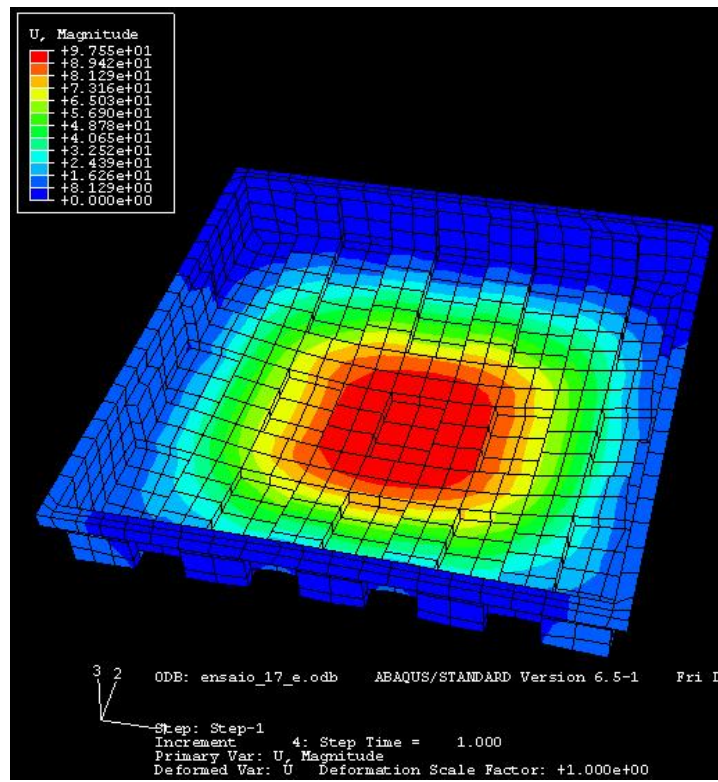


Figura B. 47 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8e), 10mm

8g)

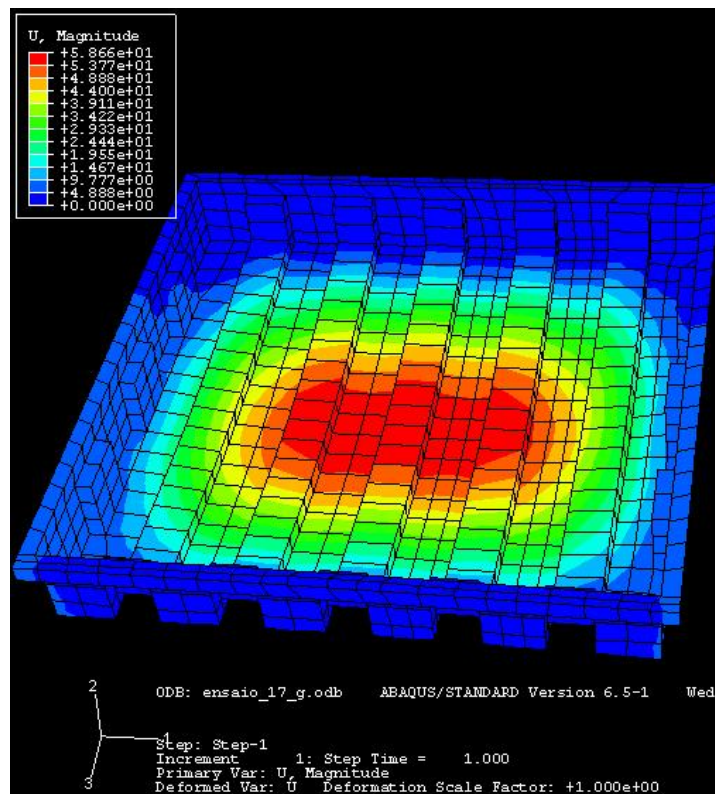


Figura B. 48 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8g), 10mm

8i)

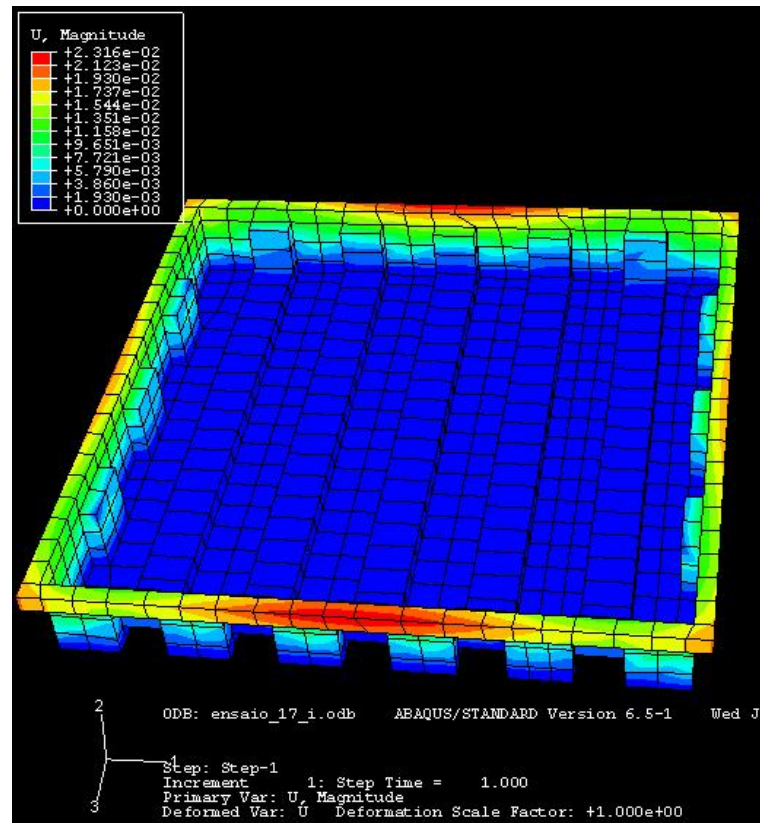


Figura B. 49 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 8i), 10mm

Comparação de resultados

Tabela B. 13 - Deslocamento obtidos – Ensaio 8

Teste	Espessura PEAD	Deslocamento Máx. (mm)			
		Magnitude	xx	yy	zz
8a)	8 mm	8,114	6,912	6,781	4,797
	10 mm	5,747	5,076	4,769	3,052
8b)	8 mm	0,722	0,721	0,546	0,244
	10 mm	0,670	0,669	0,447	0,150
8c)	8 mm	187,700	83,230	53,750	172,900
	10 mm	140,300	66,070	38,400	135,900
8d)	8 mm	115,200	20,640	16,200	115,100
	10 mm	92,270	11,810	11,480	92,230
8e)	8 mm	109,800	8,553	13,120	109,800
	10 mm	97,550	6,112	10,160	97,530
8f)	8 mm	87,110	15,910	11,380	87,080
	10 mm	70,520	9,489	8,281	70,510
8g)	8 mm	70,930	11,400	7,025	70,890
	10 mm	58,660	7,451	5,540	58,630
8h)	8 mm	60,030	10,220	4,699	60,020
	10 mm	50,515	6,880	3,476	50,500
8i)	8 mm	0,026	0,010	0,017	0,023
	10 mm	0,023	0,010	0,016	0,020

Relativamente aos ensaios de carga na Situação A), ensaio 8a) verifica-se que os deslocamentos obtidos são muito baixos e consideram-se mesmo desprezáveis com a aplicação do aro metálico, ensaios 8b) e i). Qualquer uma das configurações para a geometria do fundo adoptada nestes testes assegura resistência nesta situação de carregamento.

Comparando os testes 8c) e 8d) verifica-se facilmente a necessidade de aplicar o aro metálico de reforço. No teste 8c) é evidente a elevada deformação do fundo com deslocamentos nas paredes entre 38 e 66mm, para 10mm de espessura. Com a aplicação do aro confere-se um grande resistência e estabilidade às paredes do fundo como as imagens atestam, diminuindo-se os deslocamentos máximos nas paredes para aproximadamente 11,5mm, para 10mm de espessura. A introdução do aro reflecte-se também numa diminuição do deslocamento máximo em zz de aproximadamente 50mm, para 10mm de espessura.

Comparando os testes 8d) e 8e) verifica-se que a ligação das reentrâncias na Configuração 1) tem uma influência mínima nos deslocamento obtidos. O deslocamento em xx diminuiu um pouco como seria de esperar visto que a resistência segundo esta direcção ficou mais reforçada, piorando no entanto o deslocamento em zz. Se eventualmente se colocasse apenas uma reentrância segundo xx ao centro do fundo o deslocamento em zz piorava ainda mais porque a resistência na direcção dos yy (mais solicitada) diminuía consideravelmente.

Tabela B. 14 - Variação do deslocamento com a espessura do fundo rotomoldado, aumento de 8mm para 10mm

Teste	Var. = $ (desl_{8mm} - desl_{10mm}) \times 100 / (desl_{8mm})$ (%)				
	Magnitude	xx	yy	zz	média
8c)	25	21	29	21	23
8d)	20	43	29	20	25
8e)	11	29	23	11	17
8f)	19	40	27	19	23
8g)	17	35	21	17	19
8h)	16	33	26	16	21
				média	22

Tabela B. 15 - Variação do deslocamento com a profundidade das reentrâncias, aumento de 32mm para 40mm

Espessura PEAD	Var. = $ (desl_{17d}) - desl_{17f}) \times 100 / (desl_{17d})$ (%)				
	Magnitude	xx	yy	zz	média
8mm	24	23	30	24	24
10mm	24	20	28	24	24
				média	24

Tabela B. 16 - Variação do deslocamento com o n.º de reentrâncias, espessura 10mm, Situação B)

Variação n.º reentrâncias	Variação do deslocamento (%)				
	Magnitude	xx	yy	zz	média
4 para 5	17	21	33	17	19
5 para 7	14	8	37	14	14

No caso dos ensaios de carga relativos à Situação B) tiram-se várias conclusões:

- O aumento de espessura de 8 para 10mm proporciona uma diminuição considerável nos deslocamentos obtidos, cerca de 22%.
- O aumento da profundidade das reentrâncias de 32 para 40mm proporciona uma diminuição de aproximadamente 24% nos deslocamentos obtidos.
- O aumento do n.º de reentrâncias leva à diminuição dos deslocamentos obtidos, sendo esta diminuição mais acentuada na passagem de 4 para 5 reentrâncias.

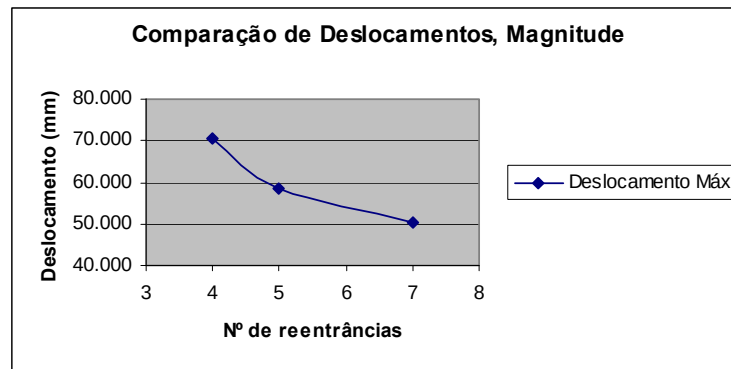


Figura B. 50 - Efeito da variação do n.º de reentrâncias – Deslocamento Magnitude

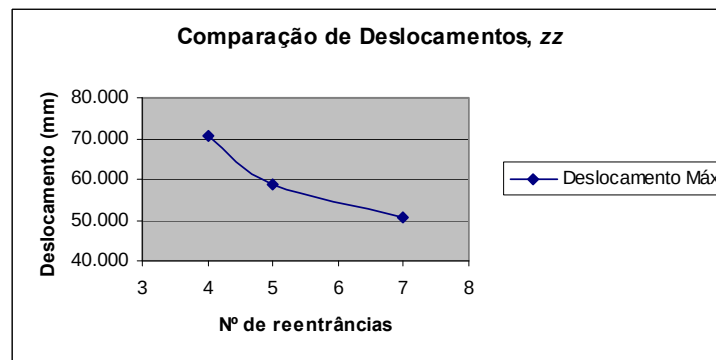


Figura B. 51 - Efeito da variação do n.º de reentrâncias – Deslocamento zz

A configuração escolhida para o fundo deverá ser uma solução de compromisso entre custo molde/material e rigidez. Com efeito a solução testada no ensaio 8g), 5 reentrâncias na direcção yy e 3 reentrâncias na direcção xx e 10mm de espessura, é uma boa solução garantindo deslocamentos aceitáveis.

6ª FASE: CARREGAMENTO DO CONJUNTO CORPO DO CONTENTOR + FUNDO, APLICAÇÃO DA GEOMETRIA FINAL

Este estudo permite verificar e comparar o comportamento do conjunto Corpo do Contentor + Fundo face ao carregamento a que foram sujeitos individualmente. A espessura de PEAD aplicada nos ensaios desta última fase foi de 10mm.

Ensaio Realizados

Ensaio 9

Neste ensaio procedeu-se à “assemblagem” do corpo do contentor, com a configuração do ensaio 16a), ao fundo, com a configuração do ensaio 8g), e com 10mm de espessura de PEAD.

A ligação entre o corpo e o fundo do contentor efectuou-se entre o aro de reforço inferior do corpo e o aro de reforço do fundo nas três secções correspondentes às 2 dobradiças e fecho do fundo. As dimensões destas secções são similares às dimensões das dobradiças e sistema de fecho/abertura utilizadas no actual contentor da TNL.

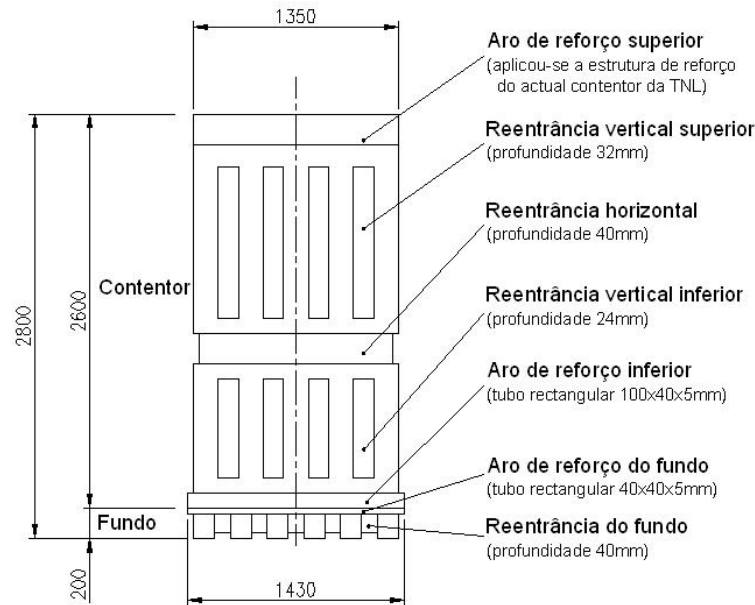


Figura B. 52 - Conjunto Corpo do Contentor + Fundo – Ensaio 9

Condições de fronteira:

Contentor encastrado nos apoios no aro superior

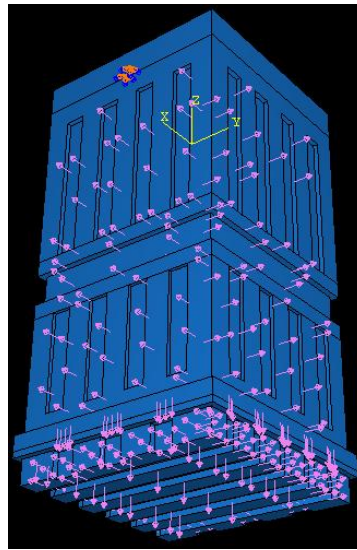


Figura B. 53 - Condições de fronteira – Ensaio 9

Cargas:

fundo	$p =$	0,022 MPa
paredes	$p =$	0,022 MPa (perfil hidrostático)

Ensaio 10

Procedeu-se também nesta etapa a um reajuste na geometria do corpo do contentor aplicando-se uma forma troncocónica com inclinação de 2° de modo a facilitar o empilhamento (antes da montagem das estruturas de reforço), melhorando o transporte e logística dos contentores sem prejuízo do volume para resíduos.

A modificação da geometria do contentor consiste essencialmente na aplicação de 2° de inclinação entre as duas faixas de secção constante nos rebordos superior e inferior. Esta alteração leva em primeiro lugar a uma diminuição da largura do parte inferior do contentor que passa de 1350mm para 1170mm e o que implica o consequente

redimensionamento do fundo de modo a acompanhar a largura de 1170mm e em segundo lugar ao cálculo dos novos valores de carga.

É de esperar uma diminuição dos deslocamentos no contentor pois este tipo de geometria confere maior resistência às cargas axiais (pressão interna) dado que a secção transversal do corpo diminui à medida que o perfil de pressão hidrostática aumenta até à p_{ref} .

Este tipo de geometria foi aplicado somente neste último ensaio do estudo pela morosidade e complexidade da sua modelação no *ABAQUS*.

O ensaio 10 serviu também para aplicar ao contentor a estrutura (asa) para elevação existente no actual contentor da TNL, verificar o comportamento do conjunto e a viabilidade de manter esta solução para o contentor em estudo.

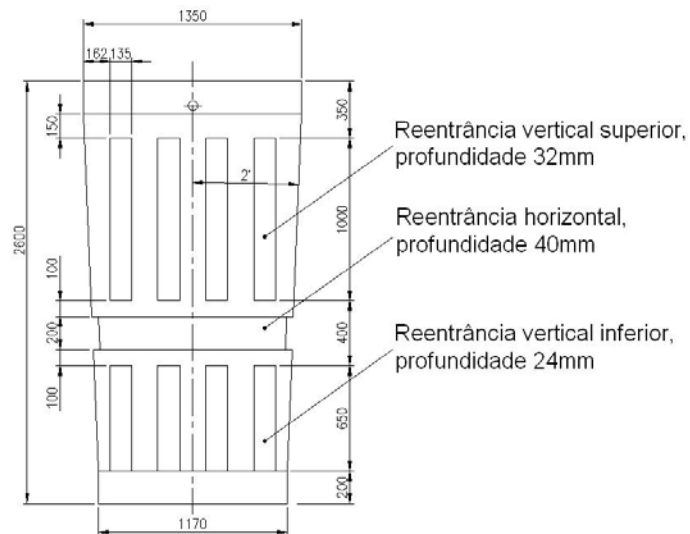


Figura B. 54 - Geometria final – Corpo Contentor Rotomoldado



Figura B. 55 - Geometria final – Fundo Contentor Rotomoldado

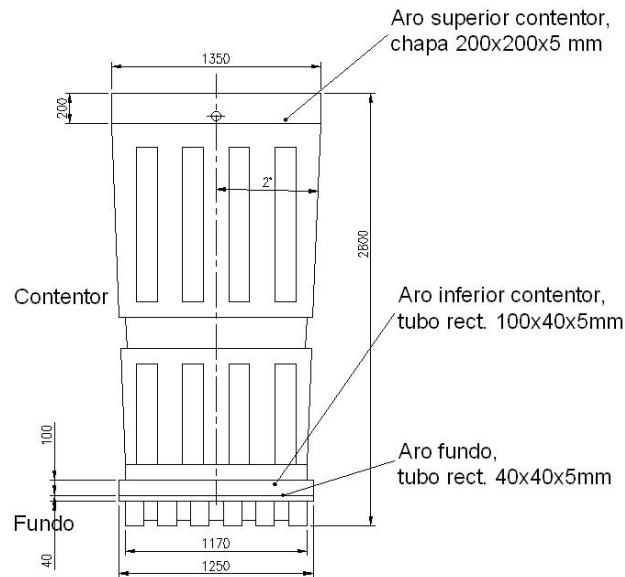


Figura B. 56 - Geometria final – Corpo + Fundo + Aros de Reforço

Valores de carga para novo volume do contentor:

Volume corpo troncocónico

secção maior	a=	1350mm
	b=	1350mm
secção menor	a1=	1170mm
	b1=	1170mm
altura	h=	2300mm
volume	V=	3,70m³

Volume secção aro superior	0,36	m ³
Volume secção aro inferior	0,14	m ³
Volume fundo contentor	0,27	m ³
Volume total contentor	4,47	m ³
Densidade resíduos	800	kg/m ³
Massa total	3576	kg

$$\text{Área da base do fundo} = 1170 \times 1170 = 1,37\text{E}+6 \quad \text{mm}^2$$

Carga na base do fundo

$$p_{\text{fundo}} = 0,026 \quad \text{MPa}$$

Carga paredes laterais contentor e fundo, perfil hidrostático

$$p_{\text{ref.}} = 0,026 \quad \text{MPa}$$

Testes efectuados:

10a)

- geometria troncocónica – Final
- contentor encastrado nos apoios no aro superior, sem estrutura para elevação
- ligação entre o corpo e o fundo em 3 secções, dobradiças e fecho

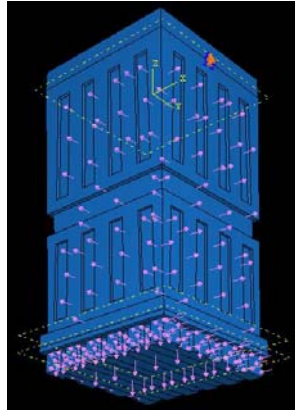


Figura B. 57 - Condições de fronteira – Ensaio 10a)

10b)

Condições de fronteira:

- geometria troncocónica – Final
- conjunto suportado pela estrutura para elevação, encastrada no tubo superior horizontal
- ligação entre o corpo e o fundo em 3 secções, dobradiças e fecho
- ligação entre a estrutura para elevação e o aro superior feita por "rigid connection" (ligação rígida) – solução aproximada

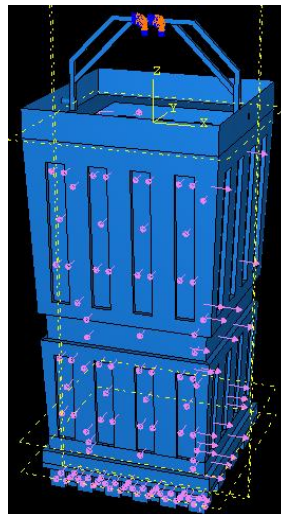


Figura B. 58 - Condições de fronteira – Ensaio 10b)

Nota:

A tipo de ligação real entre a estrutura (asa) para elevação e o aro de reforço superior do contentor deverá ser através de um veio que permita a rotação entre os componentes.

Nos ensaios efectuados no ABAQUS tentou reproduzir-se esta situação através de uma ligação tipo “parafuso” no entanto verificou-se a rotação entre o contentor e a estrutura para elevação, desvirtuando os resultados.

Optou-se então por simular uma situação aproximada através da ligação rígida. Este tipo de ligação não irá perturbar os principais resultados que se pretendem obter, ou seja os deslocamentos. Ocorrerá por outro lado uma deturpação dos valores das tensões que se concentrarão na zona da ligação, atingindo valores exagerados.

Resultados Obtidos

Ensaio 9

Neste ensaio aplicou-se ao modelo uma malha de elementos quadrados com 72mm de lado.

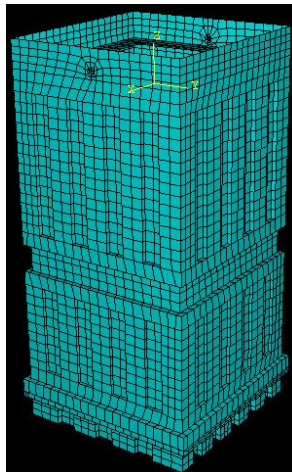


Figura B. 59 - Malha de elementos finitos – Ensaio 9

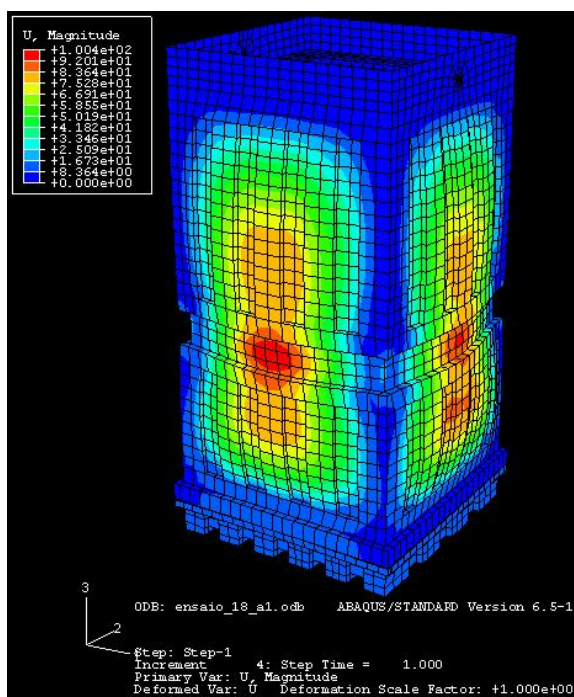


Figura B. 60 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 9

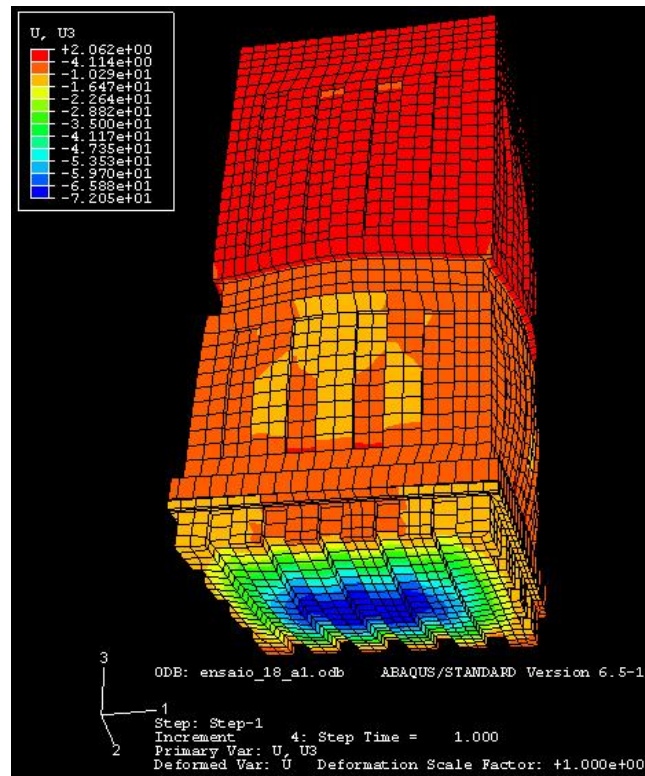


Figura B. 61 - Deslocamento zz (mm) – Ensaio 9

Ensaio 10

10a)

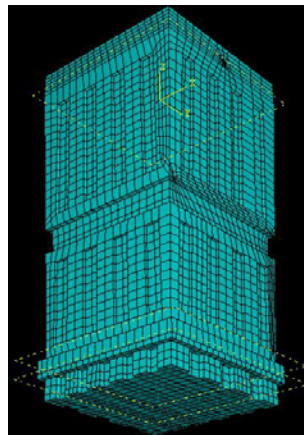


Figura B. 622 - Malha de elementos quadrados de lado 72mm

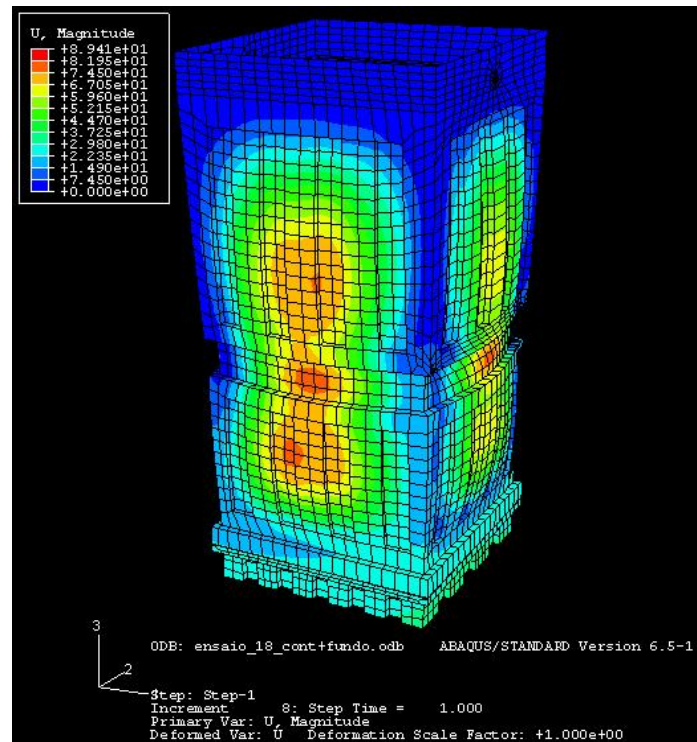


Figura B. 633 - Deslocamento Magnitude (mm) – Ensaio 10a)

10b)

Neste último ensaio aplicou-se uma malha mais refinada com elementos quadrados de lado 32mm.

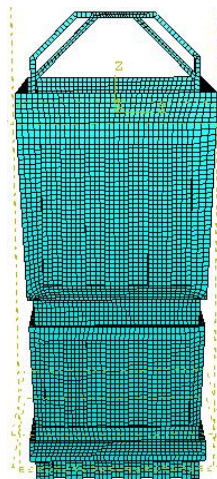
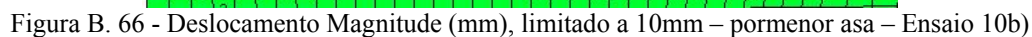
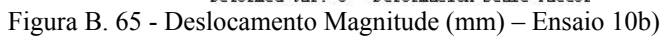


Figura B. 64 - Malha de elementos quadrados de lado 32mm



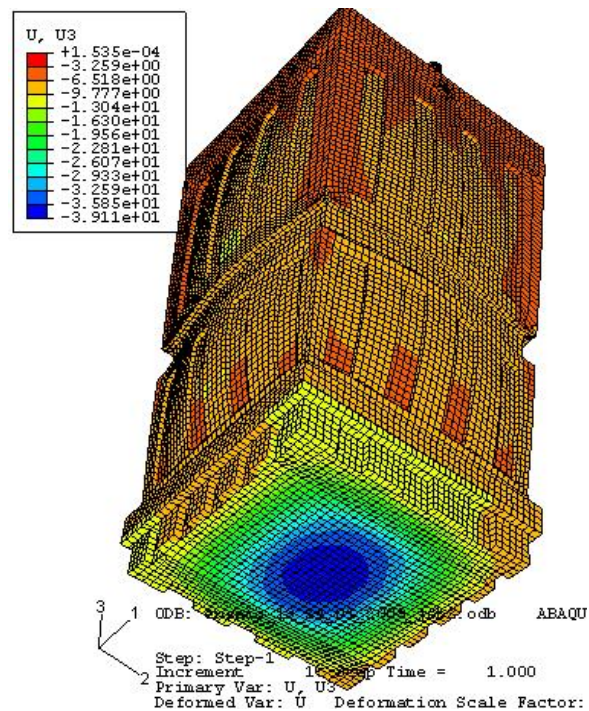


Figura B. 67 - Deslocamento zz (mm) – Ensaio 10b)

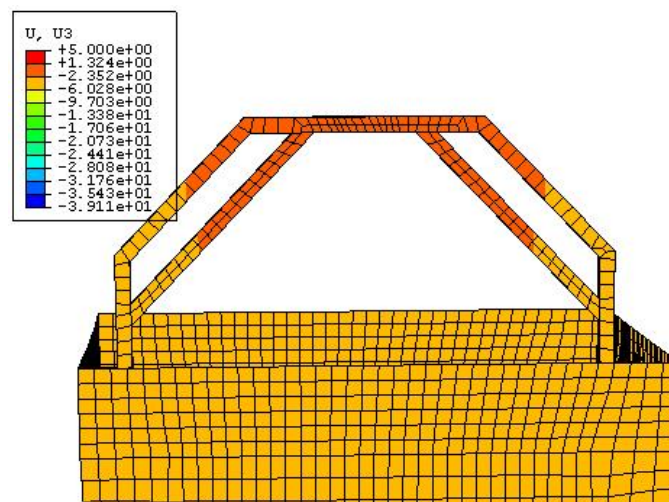
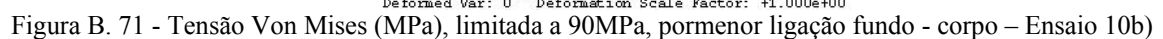
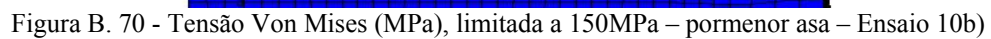


Figura B. 68 - Deslocamento zz (mm), limitado a 5mm – pormenor asa – Ensaio 10b)

Observando em pormenor a distribuição dos deslocamentos em zz da asa de suporte verifica-se que os valores destes se situam entre +1.324 e -6.028mm.



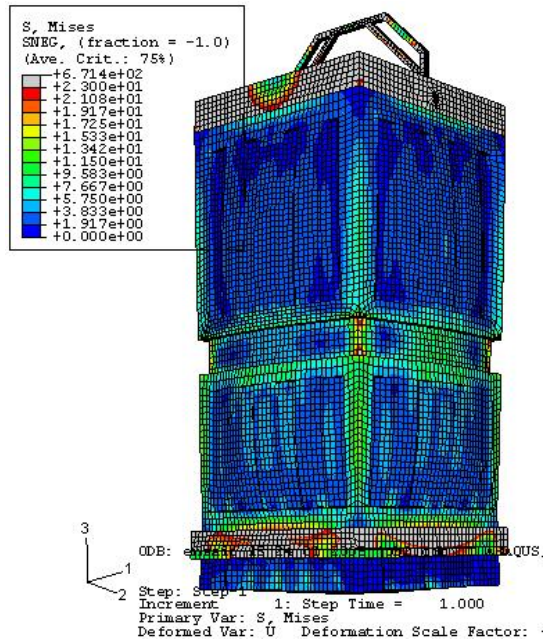


Figura B. 72 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 21MPa – Ensaio 10b)

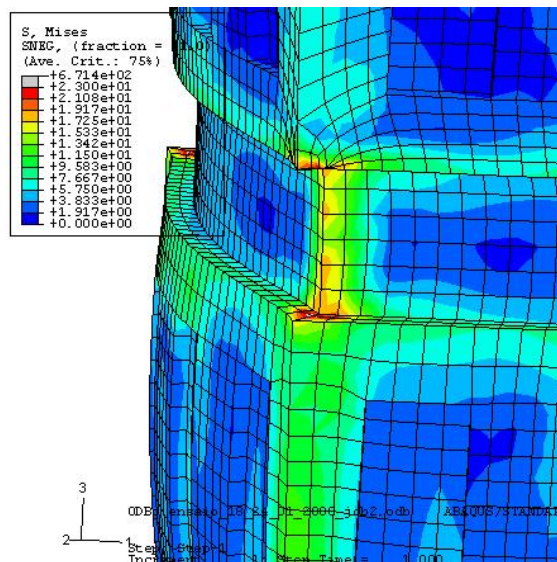


Figura B. 73 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 21MPa, pormenor cantos – Ensaio 10b)

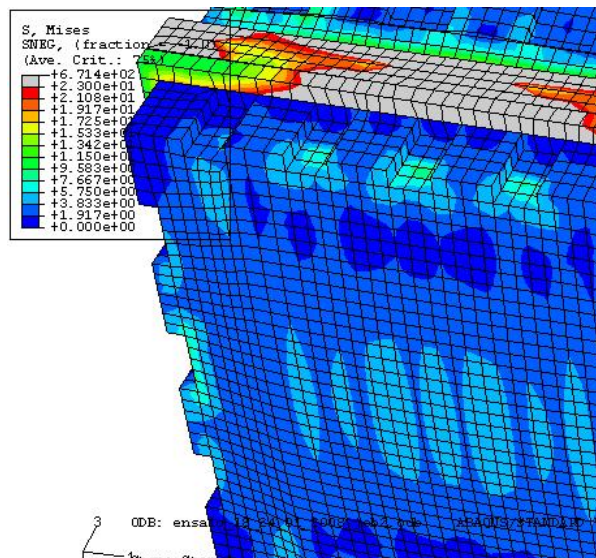


Figura B. 74 - Tensão Von Mises (MPa), limitada a 21MPa, pormenor fundo – Ensaio 10b)

Comparação de Resultados

Tabela B. 17 – Comparação dos deslocamentos obtidos, Ensaio 9 e 10

Teste	Espessura PEAD	Deslocamento Máx. (mm)				Tensão Von Mises (MPa)	
		Magnitude	xx	yy	zz	Máx.	Ligação fundo
9	10 mm	100.400	93.640	100.200	72.050	264.800*	-
10a)	10 mm	89.410	89.390	79.990	38.090	439.700*	-
10b)	10 mm	87.210	86.780	86.550	39.110	671.400*	90.000

Conclusões

Comparando os ensaios 9 e 10a) verifica-se como esperado que a geometria troncocónica oferece maior resistência ao contentor diminuindo os deslocamentos generalizadamente. Esta diminuição é mais acentuada segundo a direcção zz com uma redução de 72 para 38mm.

A introdução da estrutura de elevação no ensaio 10b) leva a uma ligeira diminuição dos deslocamentos em xx e um aumento de 6mm em yy. Isto deve-se ao facto de a estrutura reforçar o aro superior do contentor segundo a direcção dos xx limitando os deslocamentos nessa direcção. Por outro lado estando o contentor mais reforçado segundo a direcção xx, as paredes perpendiculares segundo a direcção yy são mais solicitadas.

Os deslocamentos segundo a direcção zz aumentaram ligeiramente devido a uma pequena flexão da estrutura para elevação.

Relativamente ao ensaio final, 10b):

O deslocamento máximo transversal de 87mm verificado nas paredes do contentor é bastante aceitável comparativamente às dimensões do contentor. Da mesma forma também o deslocamento máximo em zz verificado no fundo do contentor de 39mm não é exagerado.

Analisando as tensões nos aros metálicos de reforço, exceptuando a zona de ligação entre a estrutura de elevação e o aro superior do corpo e a superfície sujeita ao encastramento, todas as estruturas apresentam tensões aceitáveis.

A ligação rígida entre a estrutura de elevação e o aro superior, como referido anteriormente, não absorve os momentos gerados no carregamento, acumulando as tensões. Na situação real esta ligação será efectuada da mesma forma que no contentor actual da TNL, através de um veio bem dimensionado que permite a rotação da estrutura de elevação.

Na zona de ligação entre o aro de reforço do fundo e o aro de reforço inferior do corpo do contentor, Figura B.71, correspondentes às dobradiças e fecho, observam-se tensões máximas de 90MPa. Como medida de segurança será aplicado junto dos olhais das dobradiças e do sistema de fecho nas ligações aos aros uma chapa cobre-juntas para maior reforço.

Relativamente às tensões verificadas no corpo rotomoldado, exceptuando uma pequena zona dos cantos da reentrância horizontal, Figura B.73, que apresenta valores a rondar a tensão limite do PEAD (23MPa), todo o corpo assim como o fundo apresentam tensões baixas que não comprometem a sua resistência.

Por uma questão de simplificação a modelação das reentrâncias foi feita com cantos sem raios, o que favorece a concentração de tensões. No entanto a geometria final do molde para o corpo e o fundo do contentor terá todos os cantos com raios que garantam a boa distribuição do material durante a rotomoldagem. Uma vez obtido o corpo do contentor rotomoldado a concentração de tensões será muito mais atenuada por este tipo de geometria.

Em relação à estrutura de elevação, obteve-se um deslocamento máximo de aproximadamente 6mm, Figura B.68, e uma tensão máxima (exceptuando a superfície do encastramento e de

ligação rígida) à volta de 120MPa. São valores aceitáveis e que dão boas indicações acerca da resistência da estrutura para esta aplicação.

Aplicando ao volume de resíduos a densidade, segundo as normas EN 840 e EN 12574, de 400 kg/m^3 a utilizar para o teste de carga de resíduos pesados (orgânicos, vidro e papel), obtiveram-se os seguintes deslocamentos máximos:

Tabela B. 18 - Deslocamentos obtidos – Norma EN 840

Teste	Espessura PEAD	Deslocamento Máx. (mm)				Tensão Von Mises (MPa)
		Magnitude	xx	yy	zz	Ligação fundo
10b)	10 mm	43.600	43.390	43.280	19.560	45

Determinação da massa total e volume total finais para o Novo Contentor 5m^3

Para efeito da determinação do volume/capacidade dos contentores de resíduos considera-se sempre para o cálculo, as dimensões exteriores do contentor sendo o valor final arredondado à unidade.

Corpo do contentor (geometria troncocónica)

- Massa total do corpo do contentor: corpo rotomoldado + aro superior + estrutura (asa) de elevação + aro inferior

Corpo rotomoldado em PEAD

Espessura	10	mm	
Densidade	0,945	g/cm^3	
Área total	1.40E+07	mm^2	(obtida no ABAQUS)
Volume de material	1,45E+08	mm^3	
Massa de material	132,300	kg	

Aro superior em chapa quinada (utilizado no actual contentor da TNL)

Massa de material	47,160	kg
-------------------	--------	----

Estrutura (asa) de elevação em tubo quadrado (utilizada no actual contentor da TNL)

Massa	14,641	kg
-------	--------	----

Aro inferior em tubo quadrado 100x40x5

Tubo	100x40x4	mm
Massa tubo	6,10	kg/m
Comprimento total	4840	mm
Massa	29,524	kg
Massa _{corpo} :	223,625	kg

- Volume total do corpo do contentor: Volume secção aro superior + Volume secção troncocónica + Volume secção aro inferior

Volume _{corpo} :	4,200	m^3
---------------------------	-------	--------------

Fundo do contentor

- Massa total do fundo do contentor: fundo rotomoldado + aro de reforço

Fundo rotomoldado em PEAD

Espessura	10	mm	(obtida no ABAQUS)
Densidade	0,945	g/cm ³	
Área total	0.363E+07	mm ²	
Volume de material	0,363E+08	mm ³	
Massa de material	34,304	kg	

Aro de reforço em tubo quadrado 40x40x4

Tubo	40x40x4	mm
Massa tubo	4,200	kg/m
Comprimento total	4840	mm
Massa	20,308	kg
Massa _{fundo} :	54,632	kg

- Volume total do fundo rotomoldado

Volume _{fundo} :	0,274	m ³
---------------------------	-------	----------------

Novo Contentor 5m³

Massa	=	Massa _{corpo}	+	Massa _{fundo}	≈	278	kg
Volume	=	Volume _{corpo}	+	Volume _{fundo}	≈	4,5	m³

O volume do *Novo Contentor 5m³* considerado será de 5 m³.

ANEXO C

Seleccção de uma mola de torção dupla (90°) para o *Kit Anti-Fogo*

Pretende-se seleccionar uma mola de torção dupla para um sistema de alçapão duplo. Este alçapão é destinado a ser colocado no marco *Oporto* para papel e deverá funcionar de modo a acumular uma determinada quantidade (massa) de papel antes de abrir, protegendo assim o conteúdo do contentor em caso de o lixo depositado (papel ou outros) ser uma fonte de chama.

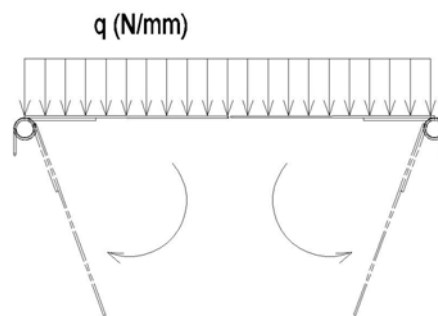


Figura C.1 - Esquema do alçapão

O alçapão é constituído por duas chapas em aço inox sendo que cada chapa é suportada por duas molas para garantir estabilidade e o correcto funcionamento.

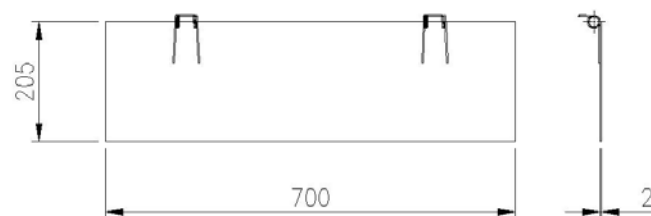


Figura C.2 - Esquema chapa alçapão e molas

Para o dimensionamento da mola admite-se que o alçapão deverá suportar 4kg de papel até iniciar a abertura.

Escolha da mola

O desenvolvimento deste trabalho envolveu a pesquisa de molas de torção que seria possível aplicar ao alçapão.

A decisão da aplicação de molas de torção dupla nesta aplicação deve-se ao facto de esta, ao contrário de uma mola de torção comum, possuir duas “pernas” oferecendo maior estabilidade ao funcionamento do alçapão.



Figura C.3 - Mola de torção dupla

Este tipo de molas tem 4 configurações diferentes disponíveis no mercado para o posicionamento relativo das “pernas” e do “aro”: A – 180°, B – 90°, C – 180°, D – 270°.

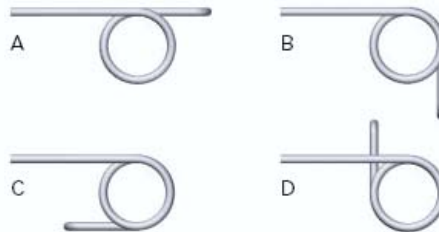


Figura C.4 - Posições possíveis da mola de torção dupla

A mola seleccionada para esta aplicação foi a de configuração B – 90°. O material da mola deverá ser aço inox para garantir a durabilidade uma vez que estará sujeita a condições climatéricas por vezes agressivas.

Dimensionamento

Chapa

Dimensões

comprimento da chapa: $c := 700\text{mm}$

largura da chapa: $l := 205\text{mm}$

espessura da chapa: $e := 2\text{mm}$

Área da chapa: $A := c \cdot l$
 $A = 0.144\text{m}^2$

Volume da chapa $V := A \cdot e$
 $V = 2.87 \times 10^{-4} \text{m}^3$

Material Aço Inox Aisi 304

densidade $\rho := \frac{8000\text{kg}}{\text{m}^3}$

massa de cada chapa $m_c := \rho \cdot V$
 $m_c = 2.296\text{kg}$

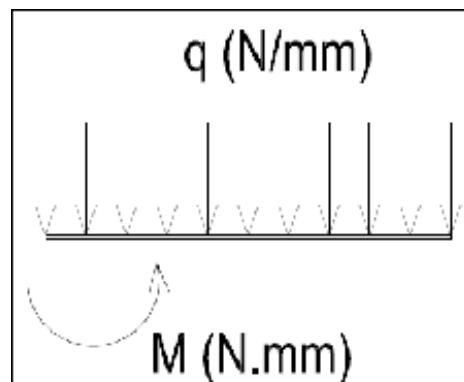
Papel

massa de papel $m_{\text{papel}} := 4\text{kg}$

massa de papel em
cada chapa $m_p := \frac{m_{\text{papel}}}{2}$
 $m_p = 2\text{kg}$

Cálculo do momento aplicado a cada mola

Admite-se uma carga uniformemente distribuída ao longo da largura da chapa



massa total (chapa + papel) $m_t := m_c + m_p$
 $m_t = 4.296 \text{ kg}$

força total
 $F := m_t \cdot g$
 $F = 42.129 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$

carga distribuída
 $q := \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{l}$
 $q = 102.755 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$

Momento aplicado
 $M := q \cdot \frac{l^2}{2}$
 $M = 2.159 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

Seleção da mola

M_n – o momento máximo da mola (N.mm)

φ – ângulo da mola para M_n (°)

c – característica da mola (N.mm / °)

Tabela C.1 – Comparação das molas pré-seleccionadas

Tabela de molas - Catálogo Lesjofors			
Cat.no.	M_n (N.mm)	φ (°)	c (N.mm/°)
8587	3510	37	94.4
8591	3510	70	50
8599	5828	115	50.8

Curva característica da mola

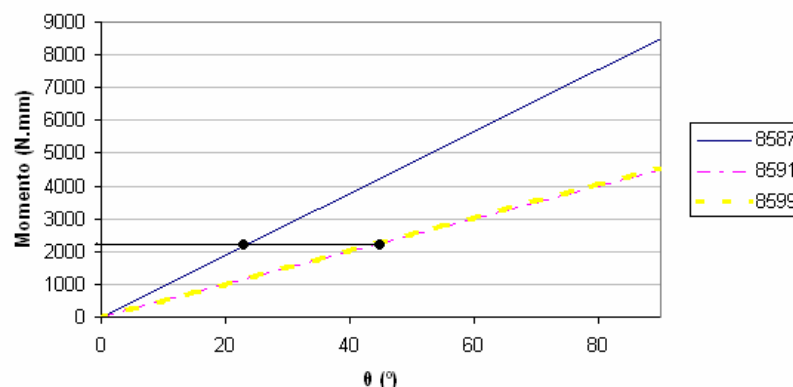


Figura C.5 - Curva característica das molas

Na selecção da mola deverá em primeiro lugar garantir-se que o M_n da mola seja superior ao momento aplicado e procurar-se que o ângulo de abertura para esse momento seja o maior possível.

Assim sendo, seleccionou-se a mola 8599 que tal como a mola 8591 permite um ângulo de 43° para o momento aplicado de 2159 Nmm, no entanto a mola 8599 tem uma abertura

máxima de 115° o que garante que nesta aplicação a mola nunca irá partir. No alçapão desenvolvido para o *Kit Anti-Fogo* a abertura máxima é de 90° .

A figura seguinte exemplifica a aplicação desta mola e a abertura permitida no alçapão.

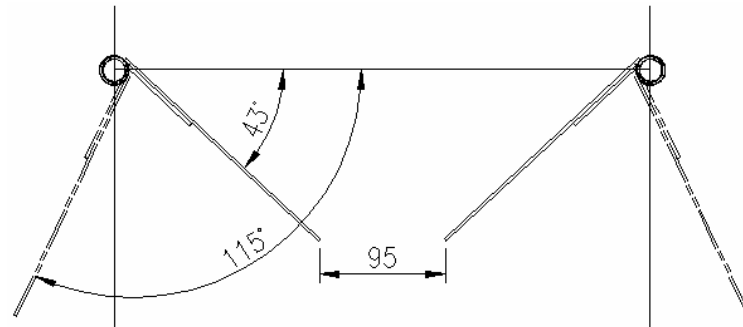


Figura C.6 - Abertura do alçapão

ANEXO D

Seleccção de um cilindro a gás para o *Marco Bigtainer com Tampa*

O conjunto da tampa concebido para o *Marco Bigtainer com Tampa* é composto pela própria tampa em chapa quinada em aço inox, por uma cantoneira 25x25x3mm para reforço da zona central, pela fechadura e caixa de suporte e pela pega.

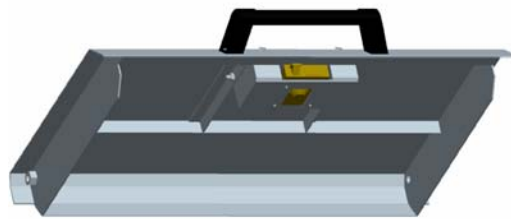


Figura D.1 - Tampa do *Marco Bigtainer com Tampa*

Massa total da tampa

m_{chapa}	=	11,537 kg
$m_{\text{cantoneiras}}$	=	1,400 kg
$m_{\text{caixa fechadura}}$	=	0,950 kg
$m_{\text{fechadura}}$	=	0,800 kg
m_{total}	=	14,687 kg

Uma vez definidas a estrutura e dimensões finais da estrutura do marco e da tampa procedeu-se à selecção do cilindro a gás.

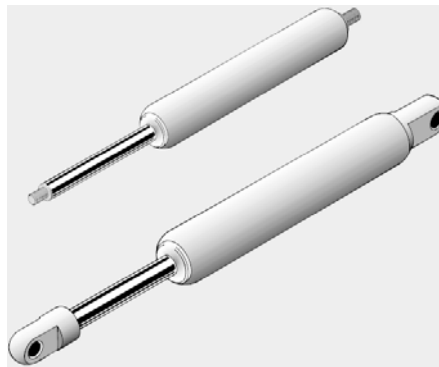
Breve descrição sobre cilindros a gás

Os cilindros ou molas a gás são um método comprovado e seguro de sustentar tampas e objectos grandes. São capazes de elevar com segurança, baixar e posicionar objectos pesados ou de difícil manueabilidade, disponibilizando forças até 10000N.

Apresentando maior versatilidade que as molas mecânicas, os cilindros a gás oferecem como principais vantagens:

- controlo da velocidade pelo amortecimento;
- movimento suavizado no fim de curso;
- ascensão simples;
- tamanho compacto;
- curva de força plana;

- vasta gama de forças disponíveis;



Cilindro a gás

Princípio do funcionamento de um cilindro a gás

O cilindro a gás é um elemento de ajuste hidropneumático, constituído por um tubo de pressão, uma haste com pistão e conexões de montagem apropriadas. É abastecido com azoto comprimido que age com pressão igual em diferentes áreas de secção transversal do pistão. Isto produz uma força na direcção de extensão. Esta força de extensão pode ser definida exactamente dentro de limites físicos pela selecção apropriada da pressão de enchimento.

“Factor de compressão” dos cilindros a gás

Quando a haste do pistão é empurrada para o interior o volume disponível para o gás diminui, tendo como consequência que a pressão do gás aumente à medida que o cilindro é comprimido. Este efeito denomina-se “factor de compressão”. O incremento na força atinge aproximadamente 30% quando a haste é totalmente comprimida.

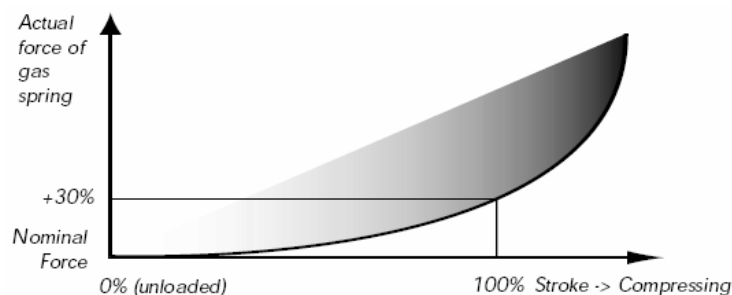


Figura D.2 – Progressividade do cilindro a gás

Por esta razão a força exercida pelo cilindro a gás na posição de recuado é 30% maior que a força na posição de avançado.

Seleção do cilindro a gás

O processo de selecção começou com a determinação do curso A e do comprimento na posição de avanço B do cilindro.

Fez-se um esquema no *AutoCad 2D* com a tampa na posição de fechada (horizontal) e de aberta a 90° (vertical) com um sistema de eixos x-y no centro do eixo da tampa. De acordo com as dimensões da tampa e tendo como referência o catálogo de cilindros a gás pré-seleccionou-se um cilindro com A = 150mm e B = 365,5mm e que dispõe de uma gama de forças nominais de 50 a 400 N.

A determinação dos pontos de fixação do cilindro na tampa e estrutura foi imediata:

1. Marcou-se a posição do ponto de fixação K na tampa fechada e K' na tampa aberta com a abertura a 90°.

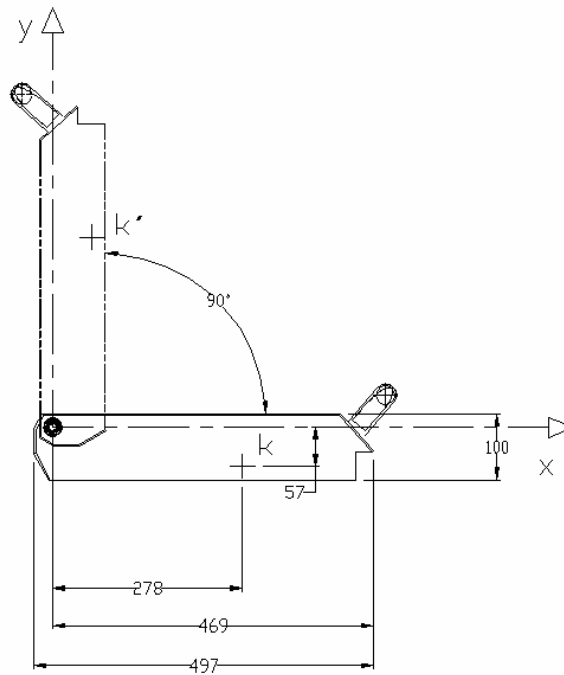


Figura D.3 - Ponto de fixação K

2. A posição do ponto de fixação R do cilindro à estrutura é obtido pela intersecção de um círculo com centro em K e raio igual ao comprimento do cilindro recuado, com outro círculo de centro em K' e raio igual ao comprimento do cilindro avançado ($B = 365,5\text{mm}$).

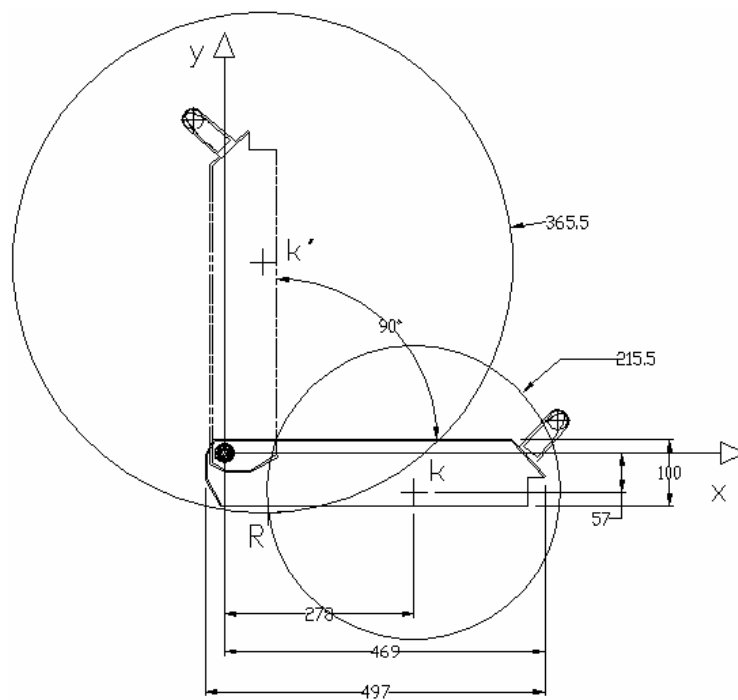


Figura D.4 - Ponto de fixação R

Com os pontos de fixação do cilindro definidos, e o curso e comprimento do cilindro determinados, resta calcular a força nominal F_{nom} do cilindro. No momento de abertura da tampa, esta apenas esta sujeita à força exercida pelo cilindro F e a massa total no centro de gravidade.

A posição do centro de gravidade do conjunto tampa + fechadura e caixa + cantoneiras de reforço, determinou-se facilmente pelo *Pro-Engineer*. A distância do centro de gravidade ao eixo dos yy é de 250mm.

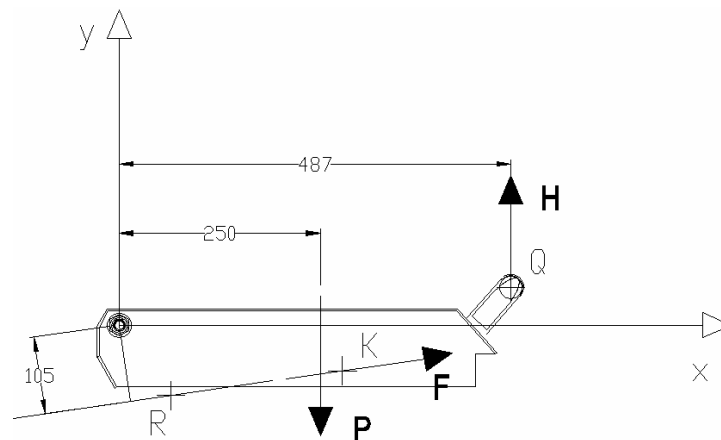


Figura D.5 - Esquema de forças na tampa (dimensões em mm)

No momento de abertura a tampa está apenas sujeita ao peso próprio P e à força F exercida pelo cilindro.

A força F necessária para levantar a tampa é,

$$F = (P \times 0,250) / 0,105 = (m_{\text{total}} \times 9,8 \times 0,250) / 0,105 = 342,697 \text{ N},$$

como se tem 2 cilindros, a força necessária a cada um é, $F_{\text{cilindro}} = F / 2 = 171,349 \text{ N}$.

Uma vez que a força nominal F_{nom} do cilindro tabelada nos catálogos é referente à força exercida pela mola na posição do cilindro avançado, que é 30% menor que a força exercida na posição do cilindro recuado, a força nominal do cilindro a seleccionar é,

$$F_{\text{nom}} = F_{\text{cilindro}} / 1,33 = 128,833 \text{ N}.$$

De acordo com o catálogo consultado, tem de se optar por um força nominal do cilindro de 100 ou 150 N. Isto significa que se optarmos pelo cilindro de 100 N será necessário auxiliar a abertura da tampa até certo ponto, enquanto que a aplicação do cilindro de 150N significa que no momento da abertura da fechadura a tampa abrirá por si o que não é uma situação desejável. Assim sendo optou-se pelo cilindro de 100N.

A nova força F' que forçará a abertura da tampa será,

$$F' = 2 \times 100 \times 1,33 = 266 \text{ N}$$

A força H necessária* ao utilizador para iniciar a abertura da tampa é de,

$$H = [(P \times 0,250) - (F' \times 0,105)] / 0,487 = 16,536 \text{ N}.$$

Para a aplicação no *Marco Bigtainer com Tampa* seleccionou-se 2 cilindros:

Lift – o – Mat, A = 150mm, B = 366,5, F1 = 100 N, ref. n.º 082651 da *Stabilus*

*A força H é variável consoante o a posição da tampa e portanto deve ser calculada para todos os ângulos de abertura.